فيزياء / فلسفة

26.2.2022

جيم الخليلي

العالم كما تراه الفيزياء



ترجمة

د.عبدالعزيز الخلاوي العنزي

العالم كما تراه الفيزياء

جيم الخليلي

ترجمة

د. عبدالعزيز الحلاوي العنزي

العالم كما تراه الفيزياء

جيم الخليلي

هـذا الكتـاب صـادر عـن مشـروع «مـدّ» للترجمـة الـذي تقـوم عليـه دار أدب للنشـر والتوزيـع ضمـن مبـادرة إثـراء المحتـوى إحـدى مبـادرات مركـز الملـك عبـد العزيـز الثقافي العالمي (إثراء)

هذه الترجمة هي الترجمة العربية عن الإنجليزية لكتاب:

The World According to Physics

تنشر هذه الترجمة عن النسخة الأصلية للكتاب:

الآراء الواردة في الكتاب لا تعبر بالضرورة عن رأي الدار

ⓒ دار أدب للنشر والتوزيع، ١٤٤٢ هـ

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

الخليلي، جيم
العالم كما تراه الفيزياء. / جيم الخليلي؛ عبدالعزيز الخلاوي.- الرياض، ١٤٤٢هـ
٣٤٠ ص؛ المقاس ١٤ × ٢١ سم
ردمك: ٣-١-٩١٦١٨-٦٠٣-٩٧٨

١- الفيزياء أ.الخلاوي، عبدالعزيز (مترجم)
ب. العنوان
ديوي ٥٣٠ ١٤٤٢/٧٦٥١

رقم الإيداع: ١٤٤٢/٧٦٥١
ردمك: ٣-١-٩١٦١٨-٦٠٣-٩٧٨

الطبعة الأولى
١٤٤٢هـ = ٢٠٢١م



info@adab.com adab.com @adab

المملكة العربية السعودية-الرياض

المحتويات

الثناء على الكتاب

«العالم المادي غريب ومليء بالمفاجآت، ومع ذلك - كما يوضح جيم الخليلي - فإن ذلك بعيد كل البعد عن أن يكون غير مفهوم. إن وصفه البسيط والعميق والدقيق للمبادئ الأساسية يجعل المعرفة الموسعة للآفاق في متناول جميع القراء».

فرانك ويلكزيك، الحائز على جائزة نوبل لعام ٢٠٠٤، ومؤلف كتاب: «سؤال جميل».

«الكثير من العلم تم اختزاله في مثل هذه الرزمة الصغيرة! تمكن جيم الخليلي من إعطاء نظرة عامة وسهلة الفهم عن كمية هائلة من الفيزياء الحديثة، دون الشعور بالاندفاع. إنه كتاب سيستمتع به أي شخص يريد لمحة عن كيفية تفكير علماء الفيزياء المعاصرين في بعض أصعب المشاكل في الكون».

شون كارول، مؤلف كتاب: «شيء مخفي بعمق: العوالم الكمومية وظهور الزمكان».

«مكتوب بشكل واضح وجذاب، حتى للقراء الذين قد لا يعتبرون أنفسهم من ذوي الخلفيات العلمية؛ فإنّ: (**العالم كما تراه الفيزياء**) هو كتاب يجب قراءته وتقديره من قبل الكثيرين.»

جوسلين بيل بورنيل، جامعة أكسفورد.

«وصف واضح وبسيط ورائع لما تخبرنا به الفيزياء عن كوننا، محسوم بالأدلة.
من أحد أكثر الموهوبين والملهمين والمروجين للعلم. يا للروعة!».

إيان ستيوارت، مؤلف كتاب: «هل يلعب النرد دور الله؟».

«يقدم هذا الكتاب وصفًا شاملاً للفيزياء الحديثة؛ حيث ينسج نسيجًا من الموضوعات الجديدة والمألوفة.
يتمتع الخليلي بأسلوب خفيف ومميز يظهر في جميع الجوانب ويعمل بشكل جيد للغاية».

بيدرو جي فيريرا، مؤلف كتاب: «النظرية الكاملة: قرن من العباقرة والمعركة على النسبية العامة».

تمهيد

هذا الكتاب عبارة عن أنشودة فيزيائية.

لقـد بدأ حبـي للفيزياء عندما كنت مراهقًـا؛ يرجع هذا – في الحقيقة – و بشكل جزئي إلى أنني أدركت أنني كنت جيدًا فيها.

بـدا الموضـوع وكأنه مزيج ممتـع من حل الألغـاز والمنطق السـليم، وقد اسـتمتعت باللعب بالمعادلات، والتلاعب بالرموز الجبريـة، وإدخـال الأرقام لتتجلى أسـرار الطبيعة، لكنني أدركت أيضًا أنه إذا كنت أرغب في الحصول على إجابات مرضية للعديد من الأسئلة العميقة حول طبيعة الكون ومعنى الوجود الذي يظهر فـي عقلـي المراهق؛ فـإن الفيزياء هـي الموضوع الـذي يجب أن أدرسه.

أردت أن أعـرف: مم صُنعنا (مـم خُلقنا)؟ من أين أتينا؟ هل للكـون بدايـة أو نهايـة؟ هـل هـو منتـهٍ فـي المـدى أم يمتـد إلـى اللانهاية؟ ما هذا الشـيء الذي يسـمى بميكانيكا الكم الذي ذكره لـي والـدي؟ ما هـي طبيعة الوقـت؟ لقد أدى بحثي عـن إجابات لهذه الأسئلة إلى قضاء عمر في دراسة الفيزياء.

لدي بعض الإجابات على أسئلتي الآن، ولا زلت أبحث عن بقية الأجوبة.

يلجأ بعض الأشخاص إلى الدين أو إلى نظام أيديولوجي أو معتقد آخر للعثور على إجابات لأسرار الحياة، لكن بالنسبة لي، ليس هناك بديل عن الافتراض الدقيق والاختبار والاستنتاج للحقائق حول العالم والتي هي السمة المميزة للطريقة العلمية.

إن الفهم الذي اكتسبناه من خلال العلم - والفيزياء على وجه الخصوص - لكيفية تكوين العالم وكيف يعمل - في نظري - ليس مجرد طريق واحد من العديد من الطرق الصحيحة المتساوية للوصول إلى «الحقيقة» حول الواقع، بل إنها الطريقة الوحيدة الموثوقة لدينا.

لا شك أن الكثير من الناس لم يقعوا في حب الفيزياء كما فعلت أنا، ربما ابتعدوا عن دراسة العلوم؛ لأنهم قرروا أو ربما أخبرهم الآخرون أنه موضوع صعب أو خاص بالعباقرة غريبي الأطوار، وللتأكيد فإن التعامل مع التفاصيل الدقيقة لميكانيكا الكَم يمكن أن يسبب صداعا، لكن عجائب عالمنا يمكن وينبغي أن يدركها الجميع، ولا يتطلب أن يكرس الشخص عمره ليحصل على الفهم الأساسي لهذه العجائب.

في هـذا الكتاب أريد أن أصف: لماذا الفيزياء بهذه الروعة؟ ولماذا هي علم أساسي؟ ولماذا هي بالغة الأهمية لفهمنا للعالم؟

النطـاق الواسـع والاكتسـاح الكبيـر للفيزيـاء اليـوم يخطف الأنفاس.

إننـا نعرف الآن مما يتكون (تقريبًا) كل شـيء نراه في العالم وكيف يتماسـك، ويمكننا تتبع تطور الكون بأسـره إلى أجزاء من الثانيـة بعـد ولادة المـكان والزمـان من خـلال معرفتنـا بالقوانين الفيزيائيـة للطبيعة، طورنا، وما زلنا نطـور، تقنيات غيرت حياتنا، كل هذا مذهل للغاية.

مـا زلـت أفكر فـي قرارة ذاتـي وأنا أكتـب الآن: كيف يمكن لأي شخص أن لا يحب الفيزياء؟

يهدف هذا الكتاب إلى أن يكون بمثابة مقدمة لبعض الأفكار الأكثر عمقًـا وثقلاً فـي الفيزياء، لكن الموضوعـات التي أغطيها ليسـت تلـك التـي مـن المحتمـل أن تكـون قـد تعرضـت لها في المدرسـة بالنسـبة لبعـض القـراء، قـد يكـون الكتـاب أول دعوة للفيزيـاء، دعوة سـتغريك لمعرفة المزيد عنها، وربما الاسـتمرار فيها كرحلة طويلة من الدراسة والاستكشاف كما حصل معي.

بالنسـبة للآخرين الذين اصطدموا بشـكل خاطئ مع الفيزياء في وقت مبكر قد يكون بمثابة إعادة تقديم لطيفة.

بالنسبة للكثيرين قد يثير ذلك التساؤل حول المدى الذي وصلت إليه البشرية في سعيها لمحاولة فهم هذا الكون.

ولنقل معرفة عملية لما تخبرنا به الفيزياء عن طبيعة عالمنا؛ اخترت مجموعة من أهم المفاهيم في الفيزياء الحديثة وحاولت إظهار كيفية ارتباطها ببعضها البعض.

سنقوم بمسح النطاق الواسع لهذا المشهد المفاهيمي من فيزياء المقاييس الكونية الأكبر إلى أصغر مستوى كمومي، من سعي الفيزيائيين لتوحيد قوانين الطبيعة إلى بحثهم عن أبسط المبادئ الفيزيائية الممكنة التي تحكم الحياة، من الحدود التأملية للبحث النظري إلى الفيزياء التي تدعم خبراتنا وتقنياتنا اليومية.

سأقدم أيضًا للقراء بعض وجهات النظر الجديدة: الأفكار التي تعلمنا نحن الفيزيائيين قبولها، لكننا لم نقم بجهد كافٍ لنقلها إلى من هم خارج دوائر الخبراء الضيقة لدينا؛ على سبيل المثال: على المستوى دون الذري تتواصل الجسيمات المنفصلة مع بعضها البعض على الفور على الرغم من تباعدها عن بعضها البعض بطريقة تنتهك المنطق، هي خاصية تسمى اللاموضعية، قد تجبرنا في النهاية على مراجعة فهمنا الكامل لبنية الفضاء نفسه، لكن للأسف؛ العديد من غير الفيزيائيين - وفي الواقع

بعض الفيزيائيين - يسيئون فهم أو يسيئون تفسير ما تعنيه هذه الظاهرة.

إن النقد الموجه - عادة من قبل علماء الفيزياء النظرية - إلى العديد من كتب العلوم الرائجة التي تشمل المفاهيم الأساسية للفيزياء هو أنها لا تساعد دائمًا القارئ العادي على فهم ما تعنيه هذه المفاهيم في الواقع، وفي رأيي: يحدث هذا؛ لأن الفيزيائيين الذين يفهمون المفاهيم حقًا، والذين يكتبون الأوراق البحثية ويخرجون بنظريات جديدة ليسوا بالضرورة أنهم الأفضل في شرح أفكارهم لغير الفيزيائيين.

في المقابل فإن أولئك الذين قد يكون لديهم خبرة أكبر ونجاح في توصيل عملهم إلى الجمهور قد لا يفهمون مفاهيم معينة بعمق كاف بأنفسهم لتجاوز التشبيهات البسيطة حتى لو كان المرء يفهم الفيزياء ويستطيع - آمل ذلك - التواصل بنجاح مع غير الفيزيائيين، فليس من السهل شرح مصطلحات مثل: ثبات المقياس، والازدواجية، والتضخم الأبدي، والمبدأ الهولوغرافي، ونظريات الحقول المطابقة، والمساحات المضادة لـ دي سيتر أو طاقة الفراغ بطريقة تنقل البصيرة الحقيقية للفيزياء المعنية دون إشراك الرياضيات المعقدة.

لقد بذلت في هذا الكتاب قصارى جهدي، ولكن قد يكون

هناك بعض القراء الذين يشعرون أنه كان بإمكاني القيام بعمل أفضل؛ وبطبيعة الحال لا يوجد عمل كامل ومثالي وقادر على إرضاء الجميع.

ومع ذلك إذا كنت ترغب في التعمق أكثر في أي مواضيع معينة قد وجدتني تطرقت لها بإيجاز هنا؛ فهناك العديد من الكتب التي تشرح هذه المواضيع ببراعة، سأدرج في نهاية الكتاب قائمة منها أعتقد أنك ستجدها أكثر سهولة وإفادة، تصف العديد من الكتب في هذه القائمة رحلة التقدم العلمي: كيف تطورت الفيزياء على مدى آلاف السنين منذ الإغريق القدماء؟ وكيف وصلنا لتلك الاكتشافات؟ وكيف تم اقتراح النظريات والفرضيات وكيف تم دحضها؟

غالبًا ما تركز هذه الكتب على الثورات التي قلبت التصورات السابقة حول الكون وتصف اللاعبين الرئيسيين في هذه الروايات التاريخية، لكن في هذا الكتاب القصير لن أنظر إلى الوراء وإلى أي مدى وصلنا، ولن أتحدث كثيرًا عن المدى الذي يجب علينا أن نصل إليه - لأنني لا أعرف، وأيضًا لأنني أعتقد أنه لا يزال طويلاً - على الرغم من أنني سأركز في الفصل الثامن على ما نعرف أننا لا نعرفه.

ليس لدي نظرية معينة لأطرحها كذلك، على سبيل المثال: عندما يتعلق الأمر بالتوفيق بين ميكانيكا الكم والنسبية العامة - الكأس المقدسة للفيزياء النظرية الحديثة -؛ فأنا لا أؤيد أيًا من المعسكرين الرئيسيين اللذين يعملان لتحقيق هذا الهدف، أنا لست مدافعًا عن نظرية الأوتار ولا الجاذبية الكمية الحلقية[١]؛ حيث لا تقع أي من النظريتين ضمن تخصصي الخاص، وعندما يتعلق الأمر بتفسير معنى ميكانيكا الكم؛ فأنا لست «كوبنهاجياً»[*]، ولا متحمسًا لـ «العوالم المتعددة»[٢]، لكن هذا لن يمنعني من أن أكون جدلياً إلى حد ما حول هذه القضايا بين الحين والآخر.

سأحاول أيضًا أن لا أتورط كثيرًا في التأملات الفلسفية أو الميتافيزيقية، على الرغم من وجود إغراء للقيام بذلك عندما يناقش المرء بعض الأفكار الرائدة والأكثر عمقًا في الفيزياء،

---

(١) بكل تأكيد سوف يتم شرح هذه الأفكار لاحقاً.

(*) نسبة لتفسير كوبنهاجن لفيزياء الكم المقدم من نيلز بور وهايزنبرج وأخرون، وهو من أهم التفسيرات شيوعاً في علم ميكانيكا الكم؛ حيث يفرض اعتماد تفسير كوبنهاجن للظاهرة الكمومية انقسامًا حادًا بين الفيزياء الكلاسيكية أو العيانية والفيزياء الكمومية أو المجهرية، في العالم العياني تبدو الأحداث حتمية، كل حدث له سبب، أما العالم الكمي ففيه تبرز الاحتمالات على حساب الحتمية. (المترجم).

(٢) سوف يتم شرح ذلك لاحقاً.

سواء حول طبيعة المكان والزمان، أو التفسيرات المختلفة لميكانيكا الكم، أو حتى معنى الواقع نفسه.

لا أقصد بهذا أن الفيزياء لا تحتاج إلى الفلسفة.

لإعطائك فكرة عن الكيفية التي تؤثر بها الفلسفة بشكل جوهري على علم الفيزياء؛ قد تندهش من معرفة أن الفيزيائيين لا يمكنهم حتى الآن الاتفاق على ما إذا كانت وظيفة الفيزياء هي معرفة كيف يكون العالم حقًا كما كان يعتقد آينشتاين - للوصول إلى جزء من الحقيقة المطلقة المتمثلة لنا في هذا الكون - أو ما إذا كان وظيفتها بناء نماذج من العالم والتوصل حاليًا إلى أفضل ما يمكننا قوله عن الواقع، وربما هو واقع لا يمكننا أن نصل إلى حقيقته أبداً.

إنني أتفق مع آينشتاين في هذا الشأن.

وببساطة؛ أود أن أزعم أن الفيزياء تعطينا الأدوات لفهم الكون بأكمله.

إن موضوع الفيزياء هو البحث عن التفسيرات، ولكن للشروع في هذا البحث: يجب علينا أولاً طرح الأسئلة الصحيحة، وهو أمر يجيده الفلاسفة.

وهكذا؛ سنبدأ رحلتنا في إطار ذهني متواضع بشكل مناسب

إذا كنا صادقين، نتشاركه جميعًا كأطفال، وكبالغين، ومع الأجيال الماضية والمستقبلية: وهو عدم المعرفة.

بالتفكير في ما لا نعرفه حتى الآن؛ يمكننا التفكير في السبيل الأفضل للوصول للمعرفة.

إن الأسـئلة الكثيـرة التـي طرحناها خلال تاريخنا الإنسـاني هي التي أعطتنا صورة أكثر دقة للعالـم الذي نعرفه ونحبه.

وعليه؛ أقدم لكم: (العالـم كما تراه الفيزياء).

الفصل الأول

رهبة الفهم

تحتل القصص دائمًا جزءًا حيويًا من الثقافة الإنسانية، حتى في العلوم - ستكون حياتنا بائسة بدونها - وقد حل العلم الحديث الآن محل العديد من الأساطير القديمة والمعتقدات الخرافية المصاحبة لها.

تعتبر أساطير الخلق من الأمثلة الجيدة على كيفية إزالة الغموض عن نهجنا لفهم العالم.

منذ فجر التاريخ ابتكر البشر قصصًا عن أصول عالمنا، والآلهة التي لعبت دورًا أساسيًا في إنشائه، من الإله السومري آنو أو أب السماء إلى الأساطير اليونانية عن غايا التي خلقت من كاوس وأساطير التكوين للأديان الإبراهيمية(*)، والتي لا تزال

(*) المؤلف ينظر من منظور المدرسة العلموية التي تستمد كل فلسفتها ونظرتها للحياة من العلم المادي، وهي وجهة نظر ترى بأن العلوم الطبيعية هي المصدر الوحيد للمعرفة الواقعية الحقيقية، بينما مدارس فلسفية أخرى تؤمن بقصور هذا المنظور وعدم شموليته.

تعتبر حقائق حرفية في العديد من المجتمعات حول العالم، قد يبدو لكثير من غير العلماء أن نظرياتنا الكونية الحديثة حول أصول الكون ليست أفضل من الأساطير الدينية التي تحل محلها، وإذا نظرت إلى بعض الأفكار الأكثر تأملاً في الفيزياء النظرية الحديثة؛ فقد توافق على أن أولئك الذين يشعرون بهذا الشعور لديهم وجهة نظر معتبرة، ولكن من خلال التحليل العقلاني والملاحظة الدقيقة - وهي عملية شاقة لاختبار وبناء الأدلة العلمية بدلاً من قبول القصص والتفسيرات بإيمان أعمى - يمكننا الآن الادعاء بدرجة عالية من الثقة بأننا نعرف الكثير عن كوننا.

أيضًا يمكننا الآن أن نقول بثقة أن ما تبقى من أسرار لا يجب أن يُنسب إلى ما هو خارق للطبيعة؛ إنها ظواهر لم نفهمها بعد، ونأمل أن نفهمها بشكل كامل يومًا ما من خلال العقل، والتحقيق العقلاني، ونعم... الفيزياء.

على عكس ما قد يجادل به بعض الناس؛ فإن المنهج العلمي ليس مجرد طريقة أخرى للنظر إلى العالم كما أنه ليس مجرد إيديولوجية ثقافية أو نظام عقائدي آخر، إنها الطريقة التي نتعلم بها عن الطبيعة من خلال التجربة والخطأ، ومن خلال إجراء التجارب والملاحظة، ومن خلال الاستعداد لاستبدال الأفكار

التي تبين أنها خاطئة أو غير مكتملة بأفكار أفضل، ومن خلال رؤية الأنماط في الطبيعة والجمال في المعادلات الرياضية التي تصف هذه الأنماط؛ فنحن بهذا المنهج نُعمق فهمنا ونقترب أكثر من تلك «الحقيقة»، الطريقة التي يكون بها العالم حقًا.

لا يمكن إنكار أن العلماء لديهم نفس الأحلام والأحكام المسبقة مثل أي شخص آخر، وأن لديهم آراء قد لا تكون دائمًا موضوعية تمامًا، ما تسميه مجموعة من العلماء: «إجماعًا»؛ يراه الآخرون على أنه «عقيدة»، وما يعتبره جيلًا ما حقيقة ثابتة؛ فإن الجيل التالي يُظهر أنه سوء فهم ساذج، تمامًا كما في الدين أو السياسة أو الرياضة؛ احتدم الجدل دائمًا في العلم.

غالبًا ما يكون هناك خطر أنه طوال الوقت الذي تظل فيه قضية علمية بدون حل، أو على الأقل عرضة للشك المعقول؛ يمكن للمواقف التي يتبناها كلا طرفي النقاش أن تصبح أيديولوجيات راسخة، يمكن أن تكون كل وجهة نظر دقيقة ومعقدة، ويمكن لمناصريها أن لا يتزعزعوا عن موقفهم تمامًا كما لو كانوا في أي نقاش أيديولوجي آخر، ومثلما هو الحال مع المواقف الاجتماعية حول الدين أو السياسة أو الثقافة أو العرق أو الجنس؛ نحتاج أحيانًا إلى جيل جديد ليأتي ويتخلص من أغلال الماضي ويدفع النقاش إلى الأمام.

ولكن هناك أيضًا تمييز حاسم بين العلم(*) عند مقارنته بالتخصصات الأخرى.

ملاحظة دقيقة واحدة أو نتيجة تجريبية؛ يمكن أن تجعل وجهة نظر علمية واسعة الانتشار أو نظرية قديمة باطلة ويتم استبدالها بنظرة جديدة للعالم.

هذا يعني أن تلك النظريات وتفسيرات الظواهر الطبيعية التي نجت من اختبار الزمن هي التي نثق بها أكثر من غيرها، وهي الأكثر ثقة ورسوخاً؛ فعلى سبيل المثال: تدور الأرض حول الشمس، وليس العكس، والكون يتوسع وليس ساكناً، وتكون سرعة الضوء في الفراغ دائمًا ثابتة بغض النظر عن مدى سرعة تحرك أدوات القياس التي نستخدمها، وهلم جراً.

عندما يتم اكتشاف علمي جديد ومهم للدرجة التي تتغير الطريقة التي نرى بها العالم؛ فلن يقتنع به جميع العلماء على الفور، ولكن هذه هي مشكلة المكتشفين؛ فالتقدم العلمي متين ويمر باختبارات صعبة، وهذا بالمناسبة شيء جيد دائمًا: المعرفة والتنوير دائمًا أفضل من الجهل.

نبدأ من الجهل، لكننا نسعى للمعرفة.

(*) المقصود بالعلم هنا العلوم الطبيعية فقط (science). (المترجم)

وعلى الرغم من أننا قد نتجادل على طول الطريق؛ غير أنه لا يمكننا تجاهل ما نجده.

عندما يتعلق الأمر بفهمنا العلمي لكيفية وجود العالم؛ فإن فكرة: «الجهل نعمة» هي فكرة خرقاء وبائسة كما قال دوجلاس آدامز ذات مرة: «سأرغب برهبة المعرفة على رهبة الجهل في أي يوم».

ما لا نعرفه

إننا نكتشف باستمرار أن هناك الكثير من الأشياء التي نجهلها، كما يؤدي إدراكنا المتنامي إلى إدراك أكبر بجهلنا!

في بعض النواحي - كما سأشرح لاحقًا - هذا هو الوضع الذي نواجهه في الفيزياء الآن، نحن الآن في لحظة من التاريخ يرى فيها العديد من الفيزيائيين أنه إن لم يكن هناك أزمة علمية، فهنالك على الأقل بوادر لها، يبدو الأمر كما لو أن شيئًا ما يجب أن يُفعل.

قبل بضعة عقود كان الفيزيائيون البارزون مثل: ستيفن هوكينغ يتساءلون: «هل النهاية تلوح في الأفق للفيزياء النظرية؟»[1]، مع «نظرية كل شيء» من المحتمل أن تكون قريبة، قالوا أنها كانت

---

(١) هو عنوان مقال كتبه هوكينغ في عام ١٩٨١: إس دبليو هوكينغ، نشرة الفيزياء ٣٢، رقم: ١ (١٩٨١): ١٥-١٧.

مجرد مسألة وضع النقاط على الحروف، لكنهم كانوا مخطئين، ولم يكن ذلك للمرة الأولى، فقد أعرب الفيزيائيون عن نفس المشاعر في نهاية القرن التاسع عشر، ثم حدث انفجار في الاكتشافات الجديدة: (الإلكترون والنشاط الإشعاعي والأشعة السينية) التي لا يمكن تفسيرها بالفيزياء المعروفة في ذلك الوقت، وبالتالي بشرت بولادة الفيزياء الحديثة.

يشعر العديد من الفيزيائيين اليوم أننا قد نكون على وشك ثورة أخرى في الفيزياء، ثورة كبيرة مثل تلك التي شهدناها منذ قرن مضى مع ولادة النسبية وميكانيكا الكم.

لا أقترح أننا على وشك اكتشاف بعض الظواهر الأساسية الجديدة، مثلك الأشعة السينية أو النشاط الإشعاعي، ولكن ربما هناك حاجة لآينشتاين آخر لكسر الجمود الحالي.

لم يحرز مصادم الهادرونات الكبير الكثير من التقدم بعد نجاحه في عام ٢٠١٢ حين كشف عن بوزون هيغز، ولم يؤكد على وجود حقل هيغز - الذي سأناقشه لاحقًا-.

كان العديد من الفيزيائيين يتطلعون لاكتشاف جسيمات جديدة أخرى في هذه الأثناء، والتي من شأنها أن تساعد في حل الألغاز القديمة.

لم يزل من الصعب علينا فهم طبيعة المادة المظلمة التي تربط المجرات ببعضها أو الطاقة المظلمة التي تمزق الكون، كما أننا لا نملك إجابات لأسئلة أساسية، مثل: سبب وجود المادة بشكل كبير، بينما نعجز عن رصد المادة المضادة، لماذا يتم ضبط خصائص الكون بدقة تسمح بوجود النجوم والكواكب والحياة؟ هل يوجد أكوان متعددة؟ أو ما إذا كان هناك أي شيء قبل الانفجار العظيم الذي خلق الكون الذي نراه.

لا يزال هناك الكثير من الأشياء التي لا يمكننا تفسيرها، ومع ذلك؛ فمن الصعب أن لا ننبهر بنجاحنا حتى الآن؛ فقد وجدنا أن بعض النظريات العلمية قد تكون مرتبطة ببعضها البعض على مستوى أعمق مما كنا نعتقد، وقد يتبين أن بعض النظريات خاطئة تمامًا، ومع كل ذلك؛ لا يستطيع أحد أن يتجاهل المدى الشاسع الذي قطعناه.

أحياناً وفي ضوء الأدلة التجريبية الجديدة؛ ندرك بأننا كنا نحفر في المكان الخطأ، وفي أحيان أخرى نقوم ببساطة بتحسين فكرة يتبين أنها ليست خاطئة، ولكننا نقوم بتحسين بسيط لنحصل على صورة أكثر دقة للواقع.

هناك بعض مجالات الفيزياء الأساسية التي لا نزال غير راضين عنها تمامًا، حيث نعلم في أعماقنا أننا لم نصل للكلمة

الأخيرة فيها بعد، ولكننا مع ذلك نواصل الاعتماد عليها في الوقت الحالي لأنها مفيدة، وخير مثال على ذلك: قانون التجاذب الكوني لنيوتن، لا يزال يُشار إليه بشكل كبير على أنه: «قانون»؛ لأن العلماء في ذلك الوقت كانوا واثقين جدًا من أنها كانت الكلمة الأخيرة في الموضوع، لدرجة أنهم رفعوا مكانته لأعلى من اعتباره مجرد: «نظرية»، لا يزال الاسم عالقًا على الرغم من حقيقة أننا نعلم الآن أن ثقتهم كانت في غير محلها.

حلت نظرية آينشتاين النسبية العامة - لاحظ أنها تسمى نظرية - محل قانون نيوتن؛ لأنها تعطينا تفسيرًا أعمق وأدق للجاذبية، ومع ذلك؛ ما زلنا نستخدم معادلات نيوتن لحساب مسارات الرحلات الفضائية.

قد لا تكون التنبؤات الخاصة بميكانيكا نيوتن دقيقة مثل تلك الخاصة بنسبية آينشتاين، ولكنها لا تزال جيدة بما يكفي لجميع الأغراض اليومية تقريبًا.

المثال الآخر الذي ما زلنا نعمل عليه: هو النموذج المعياري(*) لفيزياء الجسيمات، وهو اندماج نظريتين رياضيتين

(*) يعتمد بعض المترجمين مصطلح «النموذج القياسي»، لكنا وجدنا مصطلح «النموذج المعياري» أكثرَ شيوعًا، وكلاهما يحقق المعنى. (المترجم)

منفصلتين، تسمى: نظريتا الكهروضعيفة والديناميكا اللونية الكمومية، واللتان تصفان معًا خصائص جميع الجسيمات الأولية المعروفة والقوى المؤثرة فيما بينها.

يعتقد بعض الفيزيائيين أن النموذج المعياري ليس أكثر من مجرد بديل مؤقت حتى يتم اكتشاف نظرية موحدة ذات دقة أكبر، ومع ذلك؛ فمن اللافت للنظر أنه كما هو الحال الآن؛ يمكن للنموذج المعياري أن يخبرنا بكل ما نحتاج إلى معرفته عن طبيعة المادة: كيف ولماذا ترتب الإلكترونات نفسها حول الأنوية الذرية؟ وكيف تتفاعل الذرات لتكوين الجزيئات؟ وكيف تتفاعل هذه الجزيئات وتتلاءم معًا لتشكيل كل شيء من حولنا؟ وكيف تتفاعل المادة مع الضوء؟ وبالتالي كيف يمكن تفسير معظم الظواهر.

إن جانباً واحداً من هذه النظرية: (الكهروديناميكا الكمية) بإمكانه أن يفسر لنا كل الكيمياء في أعمق مستوياتها.

لكن النموذج المعياري لا يمكن أن يكون الكلمة الأخيرة في طبيعة المادة؛ لأنه لا يشمل الجاذبية ولا يفسر المادة المظلمة أو الطاقة المظلمة، والتي تشكل فيما بينها معظم مواد الكون.

إن الإجابة عن بعض الأسئلة تؤدي بشكل طبيعي إلى أسئلة أخرى، ويواصل الفيزيائيون بحثهم عن فيزياء: «ما وراء النموذج المعياري» في محاولة لمعالجة هذه المجهولات الحاسمة.

كيف نتقدم

تتقدم الفيزياء - أكثر من أي تخصص علمي آخر - عبر التفاعل المستمر بين النظرية والتجربة.

لا تنجو النظريات من اختبار الزمن إلا إذا استمرت التجارب في التحقق من تنبؤاتها.

إن النظرية الجيدة هي تلك التي تقدم تنبؤات جديدة يمكن اختبارها في المختبر، ولكن إذا تعارضت هذه النتائج التجريبية مع النظرية فيجب تعديل النظرية أو حتى تجاهلها، ويمكن للتجارب المعملية أن ترصد ظواهر جديدة غير مفسرة مما يتطلب البحث للوصول لنظرية جديدة.

هل نرى في أي علم آخر مثل هذه الشراكة الجميلة بين التجربة والنظرية!

يتم إثبات النظريات في الرياضيات البحتة بالمنطق والاستنتاج واستخدام الحقائق البديهية، لكنها لا تتطلب التحقق من صحتها في العالم الحقيقي، على النقيض من ذلك؛ فإن الجيولوجيا أو علم الأخلاق أو علم النفس السلوكي هي في الغالب علوم قائمة على الملاحظة؛ حيث يتم إحراز تقدم في

فهمنا من خلال الجمع المضنى للبيانات من العالم الطبيعي أو من خلال الاختبارات المعملية المصممة بعناية، لكن الفيزياء لا يمكن أن تتقدم إلا عندما تعمل النظرية والتجربة جنبًا إلى جنب، يسحب كل منهما الآخر إلى الأعلى ويشير إلى موطئ القدم التالي على أطراف القمة.

تسليط الضوء على المجهول استعارة جيدة أخرى لكيفية تطوير الفيزيائيين لنظرياتهم ونماذجهم، وكيف يصممون تجاربهم لاختبار بعض جوانب كيفية عمل هذا الكون.

عندما يتعلق الأمر بالبحث عن أفكار جديدة في الفيزياء على نطاق واسع؛ هناك نوعان من الباحثين؛ تخيل أنك تسير إلى المنزل في ليلة مظلمة بلا قمر، وتدرك حينها أن هناك ثقبًا في جيب معطفك، وأن مفاتيحك سقطت من خلاله في مكان ما على طول الطريق، أنت تعلم أنه يجب أن تكون المفاتيح في مكان ما على الأرض على امتداد الرصيف الذي مشيته للتو؛ لذا يمكنك إعادة تتبع خطواتك، لكن هل تبحث فقط في البقع المضيئة تحت أعمدة الإنارة؟ على كل حال، تغطي هذه المناطق جزءًا صغيرًا فقط من الرصيف، على الأقل سترى مفاتيحك إذا كانت هناك، أم هل تتجول في الظلام الممتد بين البقع المضيئة؟

من المرجح أن تكون مفاتيحك هناك، ولكن سيكون العثور عليها أيضًا أكثر صعوبة.

وبالمثل؛ هناك فيزيائيو بقع الضوء وفيزيائيو الظلام، الصنف الأول يلعبها بأمان ويطور نظريات يمكن اختبارها مقابل التجربة، وينظرون حيث يمكنهم الرؤية، أي: أنهم يميلون إلى أن يكونوا أقل طموحًا في ابتكار أفكار أصيلة، لكنهم يحققون معدل نجاح أعلى في تطوير معرفتنا، وإن كان ذلك تدريجيًا: تطور، وليس ثورة.

في المقابل؛ فإن الباحثين في الظلام هم أولئك الذين يأتون بتأملات وأفكار أصيلة للغاية، ليس من السهل اختبارها، فرص نجاحهم أقل، ولكن يمكن أن يكون المردود أكبر إذا كانوا على صواب، ويمكن أن تؤدي اكتشافاتهم إلى نقلة نوعية في فهمنا.

هذا التمييز بين باحثي بقع الضوء وباحثي الظلام أكثر انتشارًا في الفيزياء منه في العلوم الأخرى.

أتعاطف مع أولئك الذين يشعرون بالإحباط بسبب الباحثين الحالمين، الذين يعملون غالبًا في المجالات الدقيقة مثل: علم الكونيات ونظرية الأوتار؛ فهؤلاء هم الأشخاص الذين لا يفكرون في إضافة بعض الأبعاد الجديدة هنا أو هناك إذا كان

ذلـك يجعل رياضياتهم أجمـل، أو لنفترض أن الأكوان المتوازية اللانهائيـة تقلل الغرابة في كوننا، ولكن كانت هناك بعض الأمثلة الشهيرة للباحثين الذين كانت اكتشافاتهم كالذهب.

كان عبقري القرن العشرين بول ديراك رجلاً مدفوعًا بجمال معادلاتـه، مما دفعه إلى افتراض وجـود المادة المضادة قبل عدة سنوات من اكتشافها في عام ١٩٣٢.

ثـم هنـاك مـوراي جيـل مـان وجـورج زويـج، اللذيـن تنبّآ بمنتصف الستينيات بشكل مسـتقل من وجود الكواركات عندما لم يكن هناك دليل تجريبي يشير إلى وجود مثل هذه الجسيمات.

كان علـى بيتـر هيجز أن ينتظر نصف قرن حتى يتم اكتشـاف بوزونه وتأكيد النظرية التي تحمل اسمه.

حتـى رائـد الكم إروين شـرودنغر توصـل إلـى معادلته التي تحمـل اسـمه دون أي شـيء أكثـر مـن التخميـن الملهـم، اختار الصيغـة الرياضية الصحيحة للمعادلة علـى الرغم من أنه لم يكن يعرف حينها معنى الحل.

ما هي المواهب الفريدة التي يمتلكها كل هؤلاء الفيزيائيين؟ هل كان ذلك حدسًا؟ هل كانت حاسة سادسة سمحت لهم بشم أسرار الطبيعة؟

ربما.

يعتقد ستيفن واينبرغ الحائز على جائزة نوبل أن الجمال الذاتي في الرياضيات هو الذي أرشد منظرين عظماء مثل: بول ديراك، والفيزيائي الإسكتلندي العظيم جيمس كليرك ماكسويل في القرن التاسع عشر.

لكن من الصحيح أيضًا أن أياً من هؤلاء الفيزيائيين لم يعمل بمعزل عن الآخرين، ولا يزال يتعين على أفكارهم أن تكون متسقة مع جميع الحقائق الثابتة والملاحظات التجريبية.

البحث عن البساطة

إن الجمال الحقيقي للفيزياء - بالنسبة لي - لا يظهر فقط في المعادلات المجردة أو في النتائج التجريبية المدهشة، ولكن في المبادئ الأساسية العميقة التي تحكم الطريقة التي يكون عليها العالم.

هذا جمال لا يقل روعة عن غروب الشمس الخلاب أو عمل فني رائع مثل: لوحة ليوناردو دافنشي أو سوناتات موزارت.

إنه جمال لا يكمن في العمق المدهش لقوانين الطبيعة، ولكن في التفسيرات الأساسية المخادعة والبسيطة - عندما نكتشفها - لمصدر تلك القوانين[١].

---

(١) بالطبع، لا يجب أن يرتبط الجمال بالبساطة فقط تمامًا كما هو الحال=

خير مثال على البحث عن البساطة: هو رحلة العلم الطويلة والمستمرة لاكتشاف اللبنات الأساسية للمادة.

انظر حولك، ضع في اعتبارك المجموعة الهائلة من المواد التي يتكون منها عالمنا اليومي: الخرسانة، والزجاج، والمعادن، والبلاستيك، والخشب، والأقمشة، والمواد الغذائية، والورق، والمواد الكيميائية، والنباتات، والقطط، والأشخاص... ملايين المواد المختلفة، لكل منها خصائصه المميزة: الرخوي، القاسي، السائل، اللامع، المنثني، الدافئ، البارد... إذا لم تكن تعرف شيئًا عن الفيزياء أو الكيمياء؛ فقد تتخيل أن معظم المواد تشترك في القليل مع بعضها البعض؛ ومع ذلك فنحن نعلم أن كل شيء مصنوع من الذرات، وأن هناك عددًا محدودًا فقط من أنواع الذرات المختلفة.

لكن سعينا وراء البساطة أعمق من أي وقت مضى ولا يتوقف عند هذا الحد.

يعود التفكير في بنية المادة إلى القرن الخامس قبل الميلاد في اليونان القديمة، عندما اقترح امبيدوقليس لأول مرة أن كل

= مع الفن أو الموسيقى الرائعة، يمكن أن يكون هناك أيضًا جمال في التعقيد المطلق لبعض الظواهر الفيزيائية.

المـواد تتكـون من أربعـة: «عناصر أساسـية» - «جـذوره الأربعة لكل شيء» -: الأرض، والماء، والهواء، والنار.

علـى النقيـض من هـذه الفكرة البسـيطة، وفي نفـس الوقت تقريبًا؛ اقترح فيلسوفان آخران: ليوكيبوس وتلميذه ديموقريطس، أن كل المواد تتكون من: «ذرات» صغيرة غير قابلة للتجزئة.

ومـع ذلك؛ فـإن هاتيـن الفكرتيـن الواعدتيـن تتعارضان مع بعضهمـا البعض، بينما اعتقـد ديموقريطوس أن المادة تتكون في النهاية من لبنات بناء أساسية، فقد اعتقد أنه سيكون هناك تنوع لا نهائي من مثل هذه الذرات المختلفة.

في حين أن امبيدوقليس الذي اقترح أن كل شيء يتكون في النهايـة مـن أربعـة عناصـر فقـط جادل بـأن هـذه العناصـر كانت مستمرة وقابلة للقسمة بلا حدود.

روج كل مـن أفلاطـون وأرسـطو للنظريـة الأخيـرة، ورفضا نظرية ديموقريطس الذرية، معتقدين أن ماديته الآلية والمبسطة لا يمكن أن تنتج التنوع الغني لجمال وشكل العالـم.

إن مـا قـام به الفلاسـفة اليونانيـون لـم يكن علمًـا حقيقيًا كما نفهمـه اليوم، بصرف النظر عن بعض الاسـتثناءات البارزة، مثل: أرسـطو (المراقب)، وأرخميـدس (المجرب)، لـم تكن نظرياتهم في كثير من الأحيان أكثر من مفاهيم فلسفية مثالية.

ومع ذلك؛ فإننا اليوم ومن خلال أدوات العلم الحديث؛ نعلم أن كلا من تلك الأفكار القديمة - الذرية والعناصر الأربعة - كانت في الروح على الأقل، وعلى طول المسار صحيحة.

إن كل الأشياء التي يتكون منها عالمنا، بما في ذلك أجسامنا، وكل ما نراه في الفضاء - الشمس والقمر والنجوم - كلها مكونة من أقل من مائة نوع مختلف من الذرات.

نحن نعلم الآن أيضًا أن الذرات لها بنية داخلية، وهي مكونة من نوى صغيرة كثيفة محاطة بسحب من الإلكترونات بينما تتكون النواة نفسها من مكونات أصغر: البروتونات والنيوترونات، والتي تتكون بدورها من كتل بناء أساسية تسمى الكواركات.

لذلك؛ على الرغم من التعقيد الظاهر للمادة والتنوع اللامتناهي للمواد التي يمكن أن تتكون من العناصر الكيميائية؛ فإن الحقيقة هي أن سعي القدماء إلى البساطة لم يكن كافياً كما نفهم الفيزياء اليوم؛ فإن كل المادة التي نراها في العالم لا تتكون من العناصر الأربعة الكلاسيكية لليونانيين، بل تتكون فقط من ثلاثة جسيمات أولية: الكوارك «العلوي»، والكوارك «السفلي»، والإلكترون.

هذه هي .. كل شيء آخر هو مجرد تفاصيل.

ومع ذلك؛ فإن وظيفة الفيزياء هي أكثر من مجرد تصنيف ما يتكون منه العالم، يتعلق الأمر بإيجاد التفسيرات الصحيحة للظواهر الطبيعية التي نلاحظها والمبادئ والآليات الأساسية التي تفسرها، في حين أن الإغريق القدماء ربما ناقشوا بشغف حقيقة الذرات أو العلاقة المجردة بين «المادة» و «الشكل»، لكن لم تكن لديهم أي فكرة عن كيفية تفسير الزلازل أو البرق، ناهيك عن الأحداث الفلكية مثل: مراحل القمر أو ظهور المذنبات من حين لآخر - على الرغم من أنهم حاولوا -.

لقد قطعنا شوطًا طويلاً منذ الإغريق في العصور القديمة، ومع ذلك هناك الكثير مما لا يزال يتعين علينا فهمه وشرحه.

إن الفيزياء التي سأغطيها في هذا الكتاب هي في الغالب الأشياء التي نثق بها، وسأشرح - من خلال هذا الكتاب - سبب ثقتنا، وأشير إلى ما هو تخميني وحيثما كان هناك مجال للمناورة.

بطبيعة الحال؛ أتوقع أن تصبح بعض أجزاء هذا الكتاب قديمة في المستقبل.

وفي الواقع قد يتم الوصول لاكتشاف مهم في اليوم التالي لنشر هذا الكتاب مما قد يتسبب بمراجعة بعض جوانب فهمنا، لكن هذه هي طبيعة العلم.

في الغالب ما ستقرؤه في هذا الكتاب تم إثباته بما لا يدع مجالاً للشك على أنه ما هو عليه العالم الآن.

في الفصل التالي أستكشف فكرة المقياس.

لا يوجد علم آخر يتعامل بجراءة شديدة مع مثل هذا النطاق الواسع من المقاييس، من الزمان والمكان والطاقات، كما تفعل الفيزياء، من عالم الكم الصغير الذي لا يمكن تصوره إلى الكون بأكمله، وأزمنة إطارها من طرفة عين إلى الأبد.

بعد اكتساب التقدير للنطاقات التي يمكن أن تفسرها الفيزياء؛ سنبدأ رحلتنا بجدية بدءًا من: «الأعمدة» الثلاثة للفيزياء الحديثة: النسبية، وميكانيكا الكم، والديناميكا الحرارية، ومن أجل رسم صورة لعالمنا الذي تقدمه لنا الفيزياء؛ يجب علينا أولاً تحضير النسيج القماشي، وفي هذه الحالة فإن النسيج القماشي هو المكان والزمان.

كل ما يحدث في الكون يعود إلى أحداث تحدث في مكان ما في الفضاء وفي وقت ما

ومع ذلك؛ سنرى في الفصل الثالث أنه لا يمكننا فصل النسيج عن اللوحة.

المكان والزمان هما جزء لا يتجزأ من الواقع.

قد تصاب بالصدمة لاكتشاف مدى اختلاف وجهة نظر الفيزيائي للمكان والزمان عن وجهة نظرنا اليومية المنطقية؛ لأنها تعتمد على نظرية النسبية العامة لآينشتاين، والتي تصف طبيعة المكان والزمان وتحدد كيف نفكر في النسيج الكوني.

بمجرد أن يصبح هذا النسيج جاهزاً؛ يمكننا المضي قدمًا في تحضير دهاناتنا.

في الفصل الرابع، سأُعرّف ما يعنيه الفيزيائي بالمادة والطاقة، مادة الكون: ما يتكون منه، وكيف تم إنشاؤه، وكيف تتصرف؟

يمكن للمرء أن يفكر في هذا الفصل على أنه رفيق للفصل السابق؛ لأنني أصف أيضًا كيف ترتبط المادة والطاقة ارتباطًا وثيقًا بالمكان والزمان اللذين يوجدان فيهما.

في الفصل الخامس أغوص في عالم الأشياء الصغيرة جدًا، وأقوم بتكبير الصورة ومن ثم الانغماس لدراسة طبيعة اللبنات الأساسية للمادة، هذا هو عالم الكم، العمود الثاني للفيزياء الحديثة؛ حيث تتصرف المادة بشكل مختلف تمامًا عن تجاربنا اليومية، وحيث تصبح قبضتنا على ما هو حقيقي ضعيفة بشكل متزايد.

رغم ذلك... إن فهمنا للكم هو أكثر بكثير من مجرد رحلة خيالية أو مجرد تحول فكري.

بـدون فهـم القواعـد التي تحكـم اللبنـات الأساسـية للمادة والطاقة؛ لما كنا قادرين على بناء عالمنا التكنولوجي الحديث.

في الفصل السادس قمنا بالخروج من العالم الكمي لنرى ما يحدث على نطاق أوسع عندما نجمع العديد من الجسيمات معًا لتكوين أنظمة أكبر وأكثر تعقيدًا: ماذا يقصد الفيزيائيون بالترتيب والاضطراب والتعقيد والانتروبيا والفوضى؟

هنـا؛ نواجـه العامـود الثالـث للفيزيـاء: الديناميـكا الحرارية - دراسة الحرارة والطاقة وخصائص المادة بكميات كبيرة -.

يقودنا هذا حتمًا إلى التساؤل عما يجعل الحياة نفسها مميزة جدًا: كيف تختلف المادة الحية عن المادة غير الحية؟

فـي نهايـة المطـاف يجـب أن تخضـع الحيـاة لنفـس قوانين الفيزياء مثل كل شيء آخر، وبعبارة أخرى: هل يمكن أن تساعدنا الفيزياء في فهم الفرق بين الكيمياء والأحياء؟

في الفصل السـابع أستكشـف واحدة من أكثر الأفكار عمقًا في الفيزياء، وهي فكرة التوحيد: الطريقة التي سعينا بها، ووجدنا، مـرارًا وتكـرارًا، قوانيـن كليـة تجمع بيـن ظواهر تبـدو متباينة في الطبيعـة تحـت وصـف أو نظرية واحـدة موحـدة.. أختتم الفصل بإلقاء نظرة على بعض المتسـابقين الأوائل للوصول إلى: «نظرية فيزيائية شاملة لكل شيء».

بحلـول الفصـل الثامـن نكـون قد وصلنـا إلى حد مـا نفهمه حاليًـا عـن الكون المادي، ويمكننا أخيـرًا أن نغمس أصابع قدمنا في المحيط الشاسـع للمجهول، أستكشـف معكـم بعض الألغاز التي نكافح معها حاليًا وأتكهن بما إذا كنا على وشك حلها.

فـي الفصـل قبـل الأخيـر سـأناقش كيـف أدى التفاعـل بين النظريـة والتجربة في الفيزياء إلـى التقنيات التي بُني عليها عالمنا الحديث. على سبيل المثال: بدون ميكانيكا الكم؛ لم نكن قادرين على فهم سـلوك أشباه الموصلات أو اختراع شريحة السيليكون التي تأسست عليها جميع الالكترونيات الحديثة، ولن أكتب هذه الكلمـات على جهاز الحاسـوب المحمول الخـاص بي لولاها، سألقي نظرة أيضًا على المستقبل وأتوقع كيف ستحدث الأبحاث الحالية في تقنيات الكم ثورة في عالمنا بطرق لا يمكن تصورها.

فـي الفصـل الأخير أستكشـف مفهـوم الحقيقـة العلمية، لا سـيما في مجتمع «ما بعد الحقيقة»(*)؛ حيث يظل كثير من الناس متشـككين في العلـم: كيف تختلـف منهجية العلم عن الأنشـطة البشـرية الأخرى؟ هل هناك ما يسـمى الحقيقة العلمية المطلقة؟ وإذا كانت وظيفة العلم هي البحث عن حقائق عميقة عن الطبيعة؛

(*) ما بعد الحقيقة هو مفهوم فلسفي يقصد به اختفاء المعايير الموضوعية المشتركة للحقيقة. (المترجم)

فكيـف ينبغـي للعلمـاء إقنـاع المجتمع الأوسـع بقيمة المشـروع العلمـي: تشـكيل الفرضيـات واختبارهـا، ورفضهـا إذا كانــت لا تتناسـب مع البيانات؟ هل سينتهي العلم يومًا ما عندما نعرف كل ما يجب معرفته؟ أم أن البحث عن إجابات سيستمر في دفعنا إلى ما لانهاية؟

لقـد وعدتك في المقدمة بأنني سـأحاول عدم الإغراق كثيرًا في التأملات الفلسـفية، ومع ذلك؛ فهذا ما قمت به بالضبط، وما زالت هذه المقدمة فقط؛ لذلك، سوف آخذ نفسا عميقا وأبدأ مرة أخرى، بلطف، وبتقدير واتزان.

الفصل الثاني
القياس

بخلاف الفلسفة أو المنطق أو الرياضيات البحتة تعتبر الفيزياء علمًا تجريبيًا وكميًا(*) على حدٍ سواء[1]، وهي تعتمد على اختبار الأفكار والتحقق منها من خلال الملاحظة القابلة للتكرار والقياس والتجريب، بينما يستطيع الفيزيائيون أحيانًا اقتراح نظريات رياضية غريبة أو غير مألوفة، فإن المقياس الحقيقي الوحيد لفعاليتها وقوتها هو ما إذا كانوا يصفون ظواهر في العالم الحقيقي يمكننا اختبارها؛ هذا هو السبب في أن ستيفن هوكينغ لم يفز أبدًا بجائزة نوبل لعمله في منتصف السبعينيات عن الطريقة التي تشع بها الثقوب السوداء الطاقة، وهي ظاهرة تُعرف باسم إشعاع هوكينغ، وتُمنح نوبل فقط للنظريات أو الاكتشافات التي تم تأكيدها تجريبيا؛ لهذا السبب كان على بيتر هيجز وآخرون

(*) حتى لا يلتبس عليك؛ فالمقصود بكميًا هنا: أنه علم يعتمد على البيانات، لم يقصد الكاتب الكم بمفهومه الفيزيائي. (المترجم)

(١) ولكي نُلم بكل شيء: يجب أن أضيف أنه خلال العقدين الماضيين ظهر تخصص جديد يسمى الفلسفة التجريبية.

ممن وضعوا تنبؤًا مشابهًا أن ينتظروا نصف قرن لاكتشاف جسيمات بوزون هيجز(*)، حتى تم تأكيد وجودها في مصادم الهادرونات الكبير.

وهذه المنهجية(*) هي السبب الذي جعل الفيزياء كتخصص علمي يبدأ في إحراز تقدم مثير للإعجاب حقًا بمجرد اختراع الأدوات والآلات اللازمة لاختبار النظريات من خلال الملاحظة والتجربة والقياس الكمي.

ربما كان الإغريق القدماء بارعين في التفكير المجرد؛ حيث طوروا موضوعات مثل: الفلسفة والهندسة إلى مستوى من التعقيد لا يزال ساريًا حتى اليوم، لكن - وبصرف النظر عن أرخميدس - لم يكونوا مشهورين بشكل خاص ببراعتهم التجريبية.

لقد تطور عالم الفيزياء فعليًا في القرن السابع عشر، ويرجع

(*) مُنحت جائزة نوبل في الفيزياء لعام ٢٠١٣ للعالمين فرانسوا إنجليرت وبيتر دبليو هيغز «لاكتشافهما النظري لآلية تساهم في فهمنا لأصل كتلة الجسيمات دون الذرية؛ حيث اقترح كل منهما بشكل منفصل وجود هذه الجسيمات عام ١٩٦٤، وتطلب الأمر قرابة الخمسين عاماً لإثبات ذلك! (المترجم).

(*) منهجية اختبار الأفكار والتحقق منها من خلال الملاحظة القابلة للتكرار والقياس والتجريب. (المترجم)

الفضل في ذلك إلى حد كبير لاختراع أهم أداتين في كل العلوم: التلسكوب والميكروسكوب.

لـو كنا قادرين فقط على فهم مـا يمكننا رؤيته من هذا العالـم بأعيننا المجردة؛ لما قطعت الفيزياء شوطاً طويلاً.

إن نطـاق الأطـوال الموجيـة التـي يمكـن «رؤيتهـا» بالعيـن البشـرية هـو مجرد شـظية صغيرة مـن الطيف الكهرومغناطيسـي الكامـل، وأعيننـا مقيـدة بتمييز الأشـياء التي ليسـت صغيـرة جدًا وليست بعيدة جدًا، بينما يمكننا من حيث المبدأ أن نرى اللانهاية بشـرط أن يصـل عـدد كافٍ من الفوتونات إلـى أعيننا - مع العلم بأنها تحتاج لوقت لانهائي للوصول إلينا! -.

إن هذا على الأرجح لن يوفر لنا الكثير من التفاصيل المفيدة، ولكن بمجرد اختراع المجهر الضوئي والتلسكوب؛ فتحت نوافذ علـى العالم زادت بشـكل كبيـر من فهمنا؛ بتضخيـم الصغير جدًا وتقريب البعيد جدًا.

وبعد طـول انتظار؛ يمكننا الآن إجراء ملاحظات وقياسـات مفصلة لاختبار أفكارنا وصقلها.

في السابع من كانون الثاني (يناير) عام ١٦١٠، وجه جاليليو عدسـاته المعدلة والمحسّـنة إلى السماء ونفى إلى الأبد فكرة أننا

فـي مركز الكـون[1]، لاحظ أربعة من أقمار المشـتري، واسـتنتج بشـكل صحيـح أن نمـوذج مركزيـة الشـمس لكوبرنيكـوس كان صحيحًا - أن الأرض تدور حول الشمس وليس العكس -.

من خلال مراقبة الأجسام في مدار حول المشتري؛ أظهر أنه ليست كل الأجرام السماوية تدور حولنا.

الأرض ليسـت في مركز الكون، ولكنها مجرد كوكب آخر، مثل كوكب المشتري والزهرة والمريخ يدور حول الشمس، ومع هذا الاكتشاف بشر جاليليو بعلم الفلك الحديث.

لـم يكن مـا قدمه جاليليو مجـرد ثورة في علـم الفلك، لكنه رسـخ المنهـج العلمـي على أسـس أكثر ثباتًـا؛ بناءً علـى ما قدمه العالـم الفيزيائـي ابن الهيثم في القرون الوسـطى، جاليليو ريضن الفيزيـاء نفسـها بتطوير العلاقـات الرياضية التي تصـف بل وتتنبأ فعلاً بحركات الأجسـام، «لقد أظهر بما لا يدع مجالاً للشـك أن كتاب الطبيعة -على حد تعبيره- «مكتوب بلغة رياضية»[2].

---

(١) لا شـك أن مؤرخي العلم سـوف يعارضون هذا الادعاء التبسيطي، لم يؤسـس جاليليو مركزية الشـمس فجأة من خلال ملاحظاته، كل ما قام به هو تقديم حقائق موحية (مثل أقمار المشتري).

(٢) اقتبـاس مـن كتـاب جاليليـو الشـهير، *The Assayer (Italian: Il Saggiatore)*، نُشر في روما عام ١٦٢٣.

في الطرف المقابل من مدى ملاحظات غاليليو الفلكية؛ افتتح روبرت هوك وأنتوني فان ليفينهوك عالمًا جديدًا مختلفًا تمامًا باستخدام المجهر.

يحتوي كتاب هوك الشهير مايكروقرافيا (Micrographia) الذي نُشر عام ١٦٦٥، على رسومات مذهلة للعوالم المصغرة، من عين الذبابة والشعر على ظهر برغوث إلى الخلايا الأحادية في النباتات، لقد كان عرضًا لم يُشهد مثله قط.

إن مدى المقاييس المفتوحة للاستكشاف اليوم من قبل البشرية مذهل.

باستخدام المجاهر الإلكترونية يمكننا رؤية الذرات منفردة، بعرض عُشر من المليون من المليمتر، وباستخدام التلسكوبات العملاقة يمكننا التحديق إلى أبعد نقطة في الكون المرئي على بعد ٤٦,٥ مليار سنة ضوئية[١].

لا يوجد علم آخر يمكنه أن يدرس هذا المدى الممتد بمثل هذه المقاييس في الواقع، وبتجاهل الدقة في رصد حجم الذرات.

---

(١) أبعد ضوء يمكننا رؤيته من حافة الكون المرئي يسافر نحونا منذ أكثر من ١٣ مليار سنة، وهو يظهر لنا كيف كان الكون في بداياته، ومع ذلك - وبسبب توسع الفضاء - فإن مصدر هذا الضوء الآن أبعد بكثير من ١٣ مليار سنة ضوئية.

لقد أظهر لي فريق من جامعة سانت أندروز في اسكتلندا مؤخرًا شيئًا مثيرًا للإعجاب عندما يتعلق الأمر بقياس أصغر مقاييس الطول؛ لقد توصلوا إلى طريقة لقياس الطول الموجي للضوء باستخدام جهاز يسمى مقياس الموجة، بدقة أتومتر واحد(*) - أو واحد على الألف من قطر البروتون - لقد قاموا بذلك عن طريق تمرير ضوء الليزر عبر ألياف بصرية قصيرة، مما يؤدي إلى تشويش الضوء إلى نمط محبب يسمى «بقعة»، ثم تتبع كيفية تغير هذا النمط مع التعديلات في الطول الموجي للضوء.

ليس فقط هذا النطاق الممتد من مقاييس الطول هو ما نجده في الفيزياء، بل يمكننا أيضًا قياس الوقت بدقة متناهية، من بضعة أجزاء من رمشة عين إلى عمر الكون السرمدي.

إليك هذا المثال المذهل: في تجربة أجريت في ألمانيا عام ٢٠١٦، قام الفيزيائيون بقياس فترة زمنية أقصر من ما يمكن أن يتصوره العلماء، كانوا يدرسون ظاهرة تسمى التأثير الكهروضوئي، حيث تحرر الفوتونات الإلكترونات عن طريق إخراجها من الذرات.

(*) حاول أن تقسم المليمتر إلى مليون مليار جزء متساوي! كل جزء منها يمثل أتومتر واحد؛ هل يمكنك تصور هذا المدى المتناهي من الدقة في القياس؟ (المترجم)

شرح آينشتاين هذه العملية بشكل صحيح لأول مرة في عام ١٩٠٥ في ورقة مشهورة فاز بها بجائزة نوبل بعد سنوات عديدة - وليس لعمله حول النظريات النسبية كما كنت تعتقد - اليوم تسمى عملية إخراج الإلكترونات من المواد بالانبعاث الضوئي، وهي الطريقة التي نحول بها ضوء الشمس إلى كهرباء في الخلايا الشمسية(*).

في تجربة عام ٢٠١٦، تم استخدام ليزرين من نوع خاص، أطلق الليزر الأول نبضة قصيرة جداً، لا يمكن تصور قصرها، من ضوء الليزر الفوق البنفسجي على غاز الهيليوم المنفوث، كانت مدة هذه النبضة مجرد جزء من عشرة آلاف من تريليون من الثانية، أو ١٠٠ أتوثانية (١٠٠x١٠^-١٨ ثانية)[1]، الليزر الثاني كان أقل طاقةً، وتردده في نطاق الأشعة تحت الحمراء، وكانت مدة النبضة أطول قليلاً من الليزر الأول، كانت وظيفته هي التقاط الإلكترونات المتحررة من الذرة، مما يسمح للباحثين بحساب المدة التي استغرقتها الإلكترونات للتخلص من جاذبية النواة.

(*) كان العلماء يدرسون الفترة الزمنية لتفاعل الفوتون مع الإلكترون ليتحرر من سطح المعدن ويبدأ بتشكيل التيار (المترجم).

(١) يوجد عدد من الأتوثانية في ثانية واحدة أكثر من الثواني التي مرت منذ الانفجار العظيم.

وجد الباحثون أن الفترة الزمنية التي يحتاجها الإلكترون للتحرر مجرد عُشر مدة نبضة الليزر الأول.

المثير للاهتمام في هذه النتيجة هو أن الإلكترونات المتحررة تبطئ من حركتها بشكل طفيف، كما يتضح أن كل ذرة من ذرات الهيليوم تحتوي على إلكترونين، والإلكترونات التي تم تحريرها تشعر بتأثير الشريك الذي تتركه وراءها، مما يؤدي - بشكل طفيف جدًا - إلى تأخير عملية التحرر.

إنه لأمر مذهل أن نعتقد أن عملية فيزيائية تستغرق فقط عدداً من الأوتوثانية يمكن قياسها في الواقع بهذه الطريقة في المختبر.

في مجال الفيزياء النووية الخاص بي، هناك عمليات أسرع من ذلك، على الرغم من أنه لا يمكن قياسها مباشرة في المختبر. فبدلاً من ذلك؛ نقوم بتطوير نماذج حاسوبية لشرح الهياكل المختلفة للنواة الذرية والعمليات التي تحدث عندما تصطدم نواتان وتتفاعلان.

على سبيل المثال: الخطوة الأولى في الاندماج النووي - عندما تجتمع نواتان ثقيلتان معًا كقطرات متحدة من الماء لتكوين نواة أثقل - تتضمن إعادة التنظيم السريع جدًا لجميع البروتونات والنيوترونات من كلا النوى إلى النواة المدمجة

الجديدة، تستغرق هذه العملية الكمومية أقل من زيبتوثانية (١٠$^{-٢١}$ ثانية).

في الطرف الآخر من المقياس الزمني؛ تمكن علماء الكونيات والفلك من تحديد عمر - الجزء الخاص بنا - من الكون بدقة شديدة لدرجة أننا الآن واثقون من أن الانفجار العظيم حدث قبل ١٣,٨٢٤٢ مليار سنة - أعط أو خذ بضعة ملايين من السنين -.

قد تبدو ثقتنا في دقة هذه القيمة متعجرفة بالنسبة للبعض - حتى أنها لا تصدق من أولئك الذين ما زالوا متمسكين بفكرة العصور الوسطى بأن عمر الكون لا يتجاوز ستة آلاف عام - لذا دعوني أوضح لكم كيف وصلنا إلى هذا الرقم.

اسمحوا لي أولاً أن أقدم افتراضين هامين، سأناقشهما بمزيد من التفصيل لاحقًا، لكنني سأقول الآن فقط إن كليهما مدعوم بقوة بأدلة ملحوظة:

الأول: أن قوانين الفيزياء هي نفسها في كل مكان في كوننا.

الثاني: أن الفضاء يبدو هو نفسه في جميع الاتجاهات - نفس الكثافة والتوزيع للمجرات-.

تمنحنا هذه الفرضية الثقة في أنه يمكننا استخدام الملاحظات

التـي نجريهـا مـن الأرض، أو عبر مراصـد الأقمـار الصناعية في مدار حول الأرض، للتعرف على الكون بأكمله.

لقـد سـمح لنا القيـام بذلك بتحديـد عمر الكـون بعدة طرق مختلفة.

على سـبيل المثال: يمكننا أن نتعلم الكثير من خلال دراسـة النجوم في مجرتنا.

نحـن نعـرف كم من الوقت يمكن للنجـوم أن تعيش اعتمادًا على حجمها وسـطوعها، وهو ما يحدد مدى سرعة احتراقها عبر الاندمـاج الحـراري النـووي، هذا يعنـي أنه يمكننا حسـاب عمر أقـدم النجـوم، مما يضـع حدًا أدنـى لعمر مجرتنا، والـذي بدوره يعطينـا حدًا أدنى لعمر الكون؛ نظرًا لأن أقدم النجوم يبلغ عمرها حوالي ١٢ مليار سنة، فلا يمكن أن يكون الكون أصغر من ذلك.

ثـم مـن خـلال قيـاس سـطوع ولـون الضـوء الـذي يدخـل تلسكوباتنا من المجرات البعيدة، يمكننا معرفة مدى سرعة توسع الكون، الآن وفي الماضي.

كلما نظرنا إلى ما هو بعيد، كلما بحثنا في الماضي السحيق؛ لأن الضوء الذي نراه سيستغرق مليارات السـنين للوصول إلينا، وبالتالي يجلب لنا معلومات عن الماضي البعيد.

وإذا عرفنا مدى سرعة توسع الكون؛ فيمكننا إعادة عقارب الساعة إلى الوراء إلى وقت كان فيه كل شيء مضغوطًا في نفس المكان: لحظة ولادة الكون.

وبطريقة أخرى يمكننا تحديد عمر الكون بدقة أكبر، من خلال دراسة الاختلافات الصغيرة في درجة حرارة الفضاء السحيق - ما يسمى بالخلفية الكونية الميكروية(*) - يمكننا الحصول على لقطة دقيقة للكون كما كان قبل أن تتشكل أي نجوم ومجرات، فقط بضع مئات الآلاف من السنين بعد الانفجار العظيم.

على الرغم من أن الفيزياء تسمح لنا بالتعرف على الكون من أقصر إلى أطول مدى من المسافات والأزمنة، إلا أن ما أجده رائعًا هو أننا اكتشفنا قوانين فيزيائية تنطبق على كامل هذه النطاقات».

ربما لا تجد هذا مثيراً للدهشة، ربما من الطبيعي أن تفترض أن قوانين الطبيعة التي تعمل على المقاييس البشرية يجب أن تعمل أيضًا على مقاييس أخرى للمسافة والوقت والطاقة، هذا الاعتقاد بعيد كل البعد عن الصحة.

(*) نسبة إلى إشعاعات الميكرويف (المترجم).

لتبيين هذا الأمر بشكل أكبر؛ سأقدم ثلاثة مفاهيم لا يتم تدريسها دائمًا لطلاب الفيزياء، ولكنها بكل تأكيد يجب أن تدرس: السمة الكونية، والتناظر، والاختزال.

السمة الكلية(*)

اكتشف إسحاق نيوتن أول قانون ذو سمةٍ كلية في الفيزياء[1] - سواء رأى تلك التفاحة تسقط من شجرة في مزرعة والدته أم لا - مما دفعه إلى تطوير قانون الجاذبية الخاص به، أو ما تبدو عليه الصيغة الرياضية التي يوضحها هذا القانون، وكل هذا غير ذي أهمية هنا.

إن النقطة الحاسمة هي أن نيوتن أدرك أن القوة التي تسحب التفاحة إلى الأرض هي ذات القوة التي تبقي القمر في مداره حول الأرض، وأن العلاقة الرياضية البسيطة يمكن أن تصف كلا العمليتين بشكل متساوٍ.

إن الطريقة التي تتحرك بها الأجسام بسبب الجاذبية هنا على

(*) المقصود من السمة الكلية، أي السمة الكونية الشاملة للقانون، فعلى سبيل المثال يحكم القانون الفيزيائي الأجسام وحركتها على الأرض كما يحكمها على سطح القمر أو المريخ، إن كان كذلك فقد اكتسب سمة كلية. (المترجم)

(١) في الواقع، سبق روبرت هوك نيوتن في العمل على الجاذبية.

الأرض هي نفسها ما يبقي القمر يدور حول الأرض، والكواكب حول الشمس، والشمس حول مركز مجرة درب التبانة.

إن قـوة الجاذبيـة التي تشـكل الحياة علـى الأرض هي نفس القوة التي شكلت الكون بأكمله منذ الانفجار العظيم.

ومـع حقيقية أن وصف نيوتن للجاذبيـة قد حل محله وصف آينشتاين الأكثر دقة بعد أكثر من قرنين من الزمان، إلا أن هذا التغيير لا ينتقص من الرؤية الأساسية حول السمة الكونية للجاذبية.

كما قدمت لنا نظرية النسـبية العامة لآينشـتاين والتي حسنت علـى تنبـؤات نيوتن وصفًـا جديدًا للواقـع، والذي سـأتطرق إليه بعمق أكبر في الفصل التالي.

في الواقع؛ تُظهر نظرية آينشتاين كلية مدهشة للغاية، وسأذكر جانبًا واحدًا منها هنا لتسليط الضوء على ما أعنيه.

إن التركيب الرياضي الجميل الذي قدمه آينشتاين للعالم في عـام ١٩١٥، لا يـزال أفضل نظرياتنا الحالية حـول طبيعة المكان والزمان، وهي دقيقة للغاية.

تتنبأ نظريته بشـكل صحيح بأن حقل الجاذبية سـيبطئ مرور الزمن، فكلما كان الحقل أقوى كان مرور الوقت أبطأ.

هذا التأثير له نتيجة غريبة، وهي أن الوقت يمر بشـكل أبطأ في نواة الأرض - في أعمق بئر للجاذبية - مما يحدث على السطح.

هـذا الاختـلاف فـي العمـر الـذي تراكـم علـى مـدى أربعة مليارات ونصف مليار سنة من وجود كوكبنا يعني أن لب الأرض في الواقع أصغر بسـنتين ونصف من قشرتها، بعبارة أخرى: لكل ستين عامًـا من تاريخ الأرض؛ فـإن عمر نواتها يقـل ثانية واحدة عن قشرتها، تم حساب هذا الرقم باستخدام قانون النسبية العامة، وليـس مـن الواضح على الإطلاق كيف يمكننـا التحقق من ذلك بشـكل تجريبـي، ولكـن هذه هـي ثقتنا في هـذا القانـون الذي لا يوجد أي مجال للشك في صحته عند أي فيزيائي.

إذا كنت تفكر في التنبؤ أعلاه؛ فقد تجده متناقضًا إلى حد ما.

وفـي نهايـة المطـاف، إذا قمنا بحفـر حفرة عبـر الأرض، ثم سـافرنا إلى مركزها، فلن نشـعر بعد الآن بتأثيـرات الجاذبية؛ لأن الأرض سـتجذبنا بالتسـاوي فـي جميـع الاتجاهـات - سـنشـعر بانعدام الوزن -.

ومـع ذلـك؛ فإن التأثير على الزمن لا يرجع إلى قوة الجاذبية في مركز الأرض، والتي تسـاوي صفـرًا، بل إلى «جهد» الجاذبية هناك، وهو كمية الطاقة اللازمة لسـحب الجسـم من ذلك الموقع إلى مكان بعيد عن جاذبية الأرض تمامًا.

قـد يقـول الفيزيائـي: إن لب الأرض موجود فـي أعمق جزء من بئر الجهد للأرض، حيث يكون تباطؤ الزمن أكبر.

حتى أنه يمكننا قياس الاختلاف في معدل التدفق الزمني على ارتفاع بضعة أمتار فقط.

الساعة الموجودة في الطابق العلوي في منزلك تكون ذات جهد جاذبية أضعف قليلاً - بعيدة عن مركز الأرض - من ساعة في الطابق السفلي، وبالتالي فهي تعمل بشكل أسرع قليلاً، لكن هذا التأثير ضئيل للغاية: ستكون الساعتان غير متزامنتين بمقدار ثانية واحدة فقط كل مائة مليون سنة.

إذا كنت تشك في كل هذا، دعني أؤكد لك أن التأثير الكمي للجاذبية على الزمن حقيقي جدًا بالفعل؛ إذا لم نأخذ ذلك في عين الاعتبار في مجال الاتصالات الحديثة، فلن يتمكن الهاتف الذكي الموجود في جيبك من تحديد موقعك في أي مكان تقريبًا بنفس الدقة.

يعتمد مكان وجودك على الأرض على إرسال واستقبال هاتفك للإشارات من عدة أقمار صناعية لنظام تحديد المواقع العالمي جي بي إس.

الوقت الذي تستغرقه هذه الموجات الكهرومغناطيسية لتغطية المسافة يجب أن يكون معروفًا في غضون بضعة أجزاء من المئات من الميكروثانية - بحيث يمكن تحديد موقعك في غضون بضعة أمتار-.

لكـن هذا لـن ينجـح إذا افترضنـا أن الوقت يعمـل بالمعدل نفسه في كل مكان.

في الواقع، تكتسـب السـاعات الذرية عالية الدقة الموجودة على متن الأقمار الصناعية حوالي ٤٠ جزء من المليون من الثانية كل يـوم، وبالتالـي يجـب إبطـاء سـرعتها عمـدًا لمطابقـة معـدل الساعات البطيئة - نسبياً - المرتبطة بالأرض.

بـدون ذلـك؛ سـتتجاوز سـاعات القمـر الصناعـي وقتنا على الأرض وسينحرف موقع الجي بي إس الخاص بك بأكثر من عشرة كيلومترات كل يوم - مما يجعل المعلومات عديمة الفائدة -.

الأمر اللافت للنظر أيضًا هو أن نفس معادلات النسبية العامة التي تتنبأ بالطريقة التي تسـبب بها الجاذبية بتعديلات طفيفة على المعـدل الذي يمكن أن يمر به الوقت، يمكن أن تخبرنا أيضًا عن المقاييس الزمنية الأطول التي يمكن تخيلها، ورسم خرائط تاريخ الكون على مدى بلايين السنين طوال طريق العودة إلى الانفجار العظيم، وحتى التنبؤ بمستقبله.

تعمـل نظرية النسـبية لآينشـتاين بشـكل جيد ومتسـاوي في الفترات القصيرة والطويلة من الزمن.

لكـن هـذه السـمة الكونيـة تمتد حتى هـذا المـدى المذكور فقط.

نحن نعلم أنه في أصغر مقاييس الطول والوقت، تنهار فيزياء عالمنا اليومي - سواء وفقًا لنيوتن أو آينشتاين -، ويجب استبدالها بتنبؤات ميكانيكا الكم.

وفي الواقع؛ - وكما سأشرح في الفصول القادمة - يختلف تقلص الزمن وفقًا لنظرية الكم بشكل كبير عن الطريقة التي يدخل بها في النسبية العامة، والتي تعد مجرد واحدة من التحديات العديدة التي لا تزال تواجه علماء الفيزياء في محاولاتهم للجمع بين النظريتين النسبية والكمية في نظرية واحدة موحدة «الجاذبية الكمية».

التناظر

إن عالمية قوانين الطبيعة لها أصول رياضية رائعة وترتبط بأحد أقوى الأفكار في العلم: التناظر.

على المستوى البدائي، يفهم الجميع ما هو المقصود بالشكل الهندسي المتماثل.

يكون المربع متماثلًا؛ لأنك إذا رسمت خطًا رأسيًا لأسفل مركزه، أو قسمته إلى نصفين - أو فعلت الشيء نفسه بخط أفقي أو قطري-؛ فإن تبديل النصفين حوله لا يغير شكله، ويمكنك

أيضًا تحقيق نفس النتيجة إذا قمت بتدويره بمضاعفات ٩٠ درجة.

تحتوي الدائرة على قدر أكبر من التناظر؛ لأنه يمكنك تدويرها بأي زاوية دون تغيير شكلها.

في الفيزياء يمكن أن تخبرنا التناظرات عن الواقع شيئًا أعمق بكثير من مجرد ثبات بعض الأشكال عندما يتم تدويرها أو قلبها.

عندما يقول الفيزيائيون: إن النظام الفيزيائي متناظر؛ فإنهم يقصدون أن بعض خصائص هذا النظام تظل كما هي عندما يحدث أي تغيير.

وقد اتضح أن هذا مفهوم قوي للغاية.

إن التناظرات «الكونية» تحدث عندما تظل قوانين الفيزياء كما هي - لا يوجد تغيير في الطريقة التي تصف بها بعض السمات الكونية - طالما أن بعض التغييرات الأخرى، أو «التحويلات»، يتم تطبيقها بالتساوي في كل مكان.

في عام ١٩١٥ اكتشفت إيمي نويثر أنه أينما نرى مثل هذا التناظر في الطبيعة؛ يمكننا التأكد من وجود قانون مرتبط بالحفظ - الكمية الفيزيائية تبقى كما هي -.

على سبيل المثال: حقيقة أن قوانين الفيزياء لا تتغير عندما

تتحرك من مكان إلى آخر يعطينا قانون حفظ الزخم، وحقيقة أن قوانين الفيزياء لا تتغير من وقت إلى آخر يعطينا قانون حفظ الطاقة.

لقد ثبت أن هذه فكرة مفيدة للغاية في الفيزياء النظرية ولها نتائج فلسفية عميقة.

يبحث الفيزيائيون دائمًا عن تناظرات أعمق وأقل وضوحًا مخبأة في رياضياتهم.

تخبرنا نظرية إيمي نويثر أننا لا « نخترع » الرياضيات من أجل الحصول على طريقة لوصف العالم، بل بالأحرى كما لاحظ جاليليو أن الطبيعة تتحدث بلغة الرياضيات، الموجودة «هناك»، وهي جاهزة وتنتظر من يكتشفها.

ساعد البحث عن تناظرات جديدة علماء الفيزياء في سعيهم لتوحيد قوانين قوى الطبيعة.

أحد هذه التناظرات الرياضية - التي ليس من السهل تفسيرها - يسمى التناظر الفائق.

لا نعرف حتى الآن ما إذا كانت هذه خاصية حقيقية للطبيعة أم لا، ولكن إذا كانت كذلك، فيمكن أن تساعدنا في حل عدد من الألغاز، مثل ماهية المادة المظلمة وما إذا كانت

نظرية الأوتار هي النظرية الصحيحة للجاذبية الكمومية(*).

المشكلة هي أن هذا التناظر يتنبأ بوجود عدد من الجسيمات دون الذرية غير المكتشفة حتى الآن، إلى أن نحصل على التحقق التجريبي، يظل التناظر الفائق مجرد فكرة رياضية أنيقة.

تعلم الفيزيائيون الكثير أيضًا - وحصلوا على عدد من جوائز نوبل لجهودهم - من خلال محاولة إيجاد استثناءات للقواعد والقوانين التي تمنحنا إياهم هذه التناظرات، وهي فكرة تُعرف باسم «كسر التناظر».

هل سبق لك أن جلست على مائدة عشاء دائرية في مطعم أو في اجتماع فاخر ونسيت ما إذا كان الطبق الجانبي للخبز المحمص على يسارك أو يمينك؟

قبل أن يلمس أي من الضيوف على طاولتك أي شيء يكون الترتيب المنسق للأطباق والأكواب وأدوات المائدة متناظراً بغض النظر عن الآداب، لا يهم حقًا الجانب الذي يوجد فيه طبق الخبز الخاص بك، ولكن بمجرد أن يختار شخص ما ويضع - بشكل صحيح - الخبز المحمص على اللوحة الجانبية على

(*) الجاذبية الكمومية: يحاول الفيزيائيون التوليف بين النظرية النسبية والكمية، ونظرية الأوتار إحدى محاولاتهم (المترجم).

يساره، يتم كسر التناظر المثالي ويمكن لأي شخص آخر أن يحذو حذوه.

ساعد كسر التناظر الفيزيائيين على فهم اللبنات الأساسية للمادة: الجسيمات الأولية، والقوى بينها.

المثال الأكثر شهرة يتعلق بأحد نوعي القوة التي تعمل داخل حدود النوى الذرية، والمعروفة باسم القوة النووية الضعيفة.

حتى الخمسينيات من القرن الماضي؛ كان يُعتقد أن قوانين الفيزياء نفسها تمامًا كانعكاس المرآة لكوننا.

تُعرف هذه الفكرة - التبديل بين اليسار واليمين - باسم «حفظ التكافؤ» وتطيعها قوى الطبيعة الثلاث الأخرى: الجاذبية والكهرومغناطيسية والقوة النووية القوية، لكن اتضح أن القوة النووية الضعيفة، المسؤولة عن تحول البروتونات إلى نيوترونات والعكس؛ تكسر تناظر هذه المرآة.

هذه العملية لا تنتهج نهج الفيزياء المعروفة لدينا عندما يتم تبديل اليسار واليمين.

هذا الانتهاك لتناظر الانعكاس يشكل الآن عنصرًا مهمًا في النموذج المعياري لفيزياء الجسيمات.

الاختزال

تم بناء الكثير من العلوم الحديثة على فكرة مضمونها: أنه لفهم بعض الخصائص المعقدة للعالم نحتاج إلى تقسيم تلك الخصائص إلى أجزائها الأساسية، مثل فصل قطع ساعة ميكانيكية عن بعضها البعض لمعرفة كيف تتلاءم جميع التروس والرافعات معًا لجعلها تعمل.

يُعرف هذا الرأي القائل بأن الكل ليس أكثر من مجموع أجزائه بـ«الاختزالية»، وقد ظل عنصرًا أساسيًا في العديد من التخصصات في العلوم حتى يومنا هذا.

تعود الفكرة إلى الفيلسوف اليوناني ديموقريطس، ومفهومه عن الذرية: لا يمكن تقسيم المادة إلى ما لا نهاية، بل تتكون بدلاً من ذلك من لبنات أساسية.

جادل الفلاسفة اللاحقون، مثل أفلاطون وأرسطو، ضد النظرية الذرية، معتقدين أنه يجب أن يكون هناك شيء مفقود، والذي اعتقدوا أنه «شكل الشيء»، والذي يجب إضافته إلى المادة نفسها.

خذ على سبيل المثال: شكل التمثال، معناه وجوهره أكثر من مجرد الحجر المصنوع منه.

هـذا المفهـوم الماورائـي الغامـض ليس جـزءًا مـن الفيزياء الحديثة، لكن التفكير في الأشـياء بهذه الطريقة يسـاعد في تقديم حجة أوضح ضد الاختزالية.

لنأخذ مثالًا آخر: الماء، يمكننا دراسة خصائص جزيء H_2O بقدر ما نريد: هندسـة الروابط بين ذرات الأكسجين والهيدروجين والقواعـد الكموميـة التي تحكم ذلـك، والطريقة التـي تلتصق بها جزيئـات المـاء معًا وترتـب نفسـها، وما إلى ذلـك، لكننا لن نكون قادرين على استنتاج خاصية «بلل» الماء من خلال النظر فقط إلى الأجزاء المكونة له في الأسفل على المستوى الجزيئي.

تصبـح هذه الخاصية «الناشـئة» واضحة فقـط عندما تتجمع تريليونات من جزيئات الماء معًا بشكل جماعي.

هـل هذا يعني إذن أن الكل أكثر من مجموع أجزائه، بمعنى: أن هناك بعض الفيزياء الإضافية التي نحتاج إلى تضمينها لشرح.

على سبيل المثال: خصائص الكتلة للمادة ليس بالضرورة.

فكرة النشوء: أن هناك صفات للعالـم المادي، مثل: الحرارة أو الضغـط أو رطوبـة الماء، ليس لها نظائر على مسـتوى الفيزياء الذريـة، ولا يعنـي هـذا أن هناك نظامًـا أكثر من مجمـوع أجزائه؛ شـريطة أن هـذه الخصائـص الناشـئة لا تـزال مبنية علـى مفاهيم

أساسية أعمق، مثل: القوى الكهرومغناطيسية بين الجسيمات دون الذرية في حالة الماء.

استمر المشروع الاختزالي في محاولات الفيزيائيين في القرن التاسع عشر لفهم خصائص الأنظمة المعقدة التي لا يمكن تفسيرها بالقوانين البسيطة لميكانيكا نيوتن.

قرب نهاية ذلك القرن؛ طور جيمس كليرك ماكسويل ولودفيج بولتزمان حقلين فرعيين جديدين للفيزياء - الديناميكا الحرارية والميكانيكا الإحصائية - مما ساعد الفيزيائيين على التعرف على الأنظمة المكونة من كميات كبيرة من الجزيئات من خلال النظر إليها «بشكل كُلي» - سننظر في هذه المنطقة من الفيزياء بشكل أعمق في الفصل السادس -.

في حين أنه من الصحيح أننا لا نستطيع قياس درجة حرارة أو ضغط الغاز من خلال النظر في كيفية اهتزاز جزيئاته الفردية وتصادم بعضها ببعض، ما زلنا نعرف أن درجة الحرارة والضغط لا يرجعان إلا إلى السلوك الجماعي للجزيئات الفردية.

ماذا يمكن أن يكون أكثر من ذلك؟

ولكن في حين أن هذا الخط التفكري التبسيطي ليس خاطئًا - بمعنى: أنه لا توجد عملية فيزيائية إضافية تنشأ بطريقة

سحرية عندما نبتعد عن المقياس الجزيئي - فهي ذات فائدة محدودة عند محاولة وصف خصائص نظام معقد.

ما نطلبه ليس فيزياء جديدة، بل المزيد من الفيزياء؛ من أجل التعرف وفهم كيفية نشوء خصائص معينة في نظام ما من السلوكيات الجماعية لمكوناته.

لخص الحائز على جائزة نوبل فيليب أندرسون وجهة النظر هذه في عنوان إحدى الصحف الشهيرة: «المزيد مختلف.»(١)

علم النفس ليس علم الأحياء التطبيقي وعلم الأحياء ليس الكيمياء التطبيقية »، كحجة ضد الاختزالية، أعتبر هذا ضعيفًا إلى حد ما، سواء كان المفهوم أساسيًا أم لا؛ فإن هذا لا يعتمد على مدى عمقه، أو مقدار الإلهام أو الإبداع المطلوب لفهمه.

---

(١) في هذه الورقة المنشورة عام ١٩٧٢ [ب. دبليو أندرسون، العلوم ١٧٧ (٤٠٤٧): ٣٩٣-٩٦ }]، قدم أندرسون حجته ضد الاختزال الشديد، لقد استخدم كمثال التسلسل الهرمي للتخصصات العلمية المرتبة بترتيب خطي من الفيزياء باعتبارها أكثر العلوم «أساسية»، إلى الكيمياء إلى علم الأحياء إلى علم النفس إلى العلوم الاجتماعية، وادعى أن هذا التسلسل الهرمي لا يعني أن موضوعًا واحدًا هو مجرد نسخة تطبيقية لما يليه؛ «لأنه في كل مرحلة هناك حاجة إلى قوانين ومفاهيم وتعميمات جديدة تمامًا، وتتطلب الإلهام والإبداع لدرجة كبيرة كما في سابقتها.

لكـن معرفـة أن هناك حاجـة إلى المزيـد من الفيزيـاء عندما نضع الأجزاء المكونة - الجسيمات والذرات والجزيئات - معًا لتكويـن المـادة لا يماثـل القـول إننـا نعرف مـا هي الفيزيـاء التي نحتاجها.

يصبـح هـذا واضحًـا إذا حاولنا إيجاد صـورة موحدة للكون المادي.

على سـبيل المثال؛ مـا زلنا غير قادرين على اشـتقاق قوانين الديناميكا الحرارية من النموذج المعياري لفيزياء الجسيمات، أو فـي الواقـع القيام بالعكـس؛ لأنه ليس من الواضـح أي من هذين الركيزتيـن للفيزيـاء هـو الأكثر أساسـية، ونحن بعيـدون عن فهم الهياكل الأكثر تعقيدًا، مثل ما يميز الحياة عن غير الحياة.

وبعـد كل هـذا؛ ما زلت أنا وأنت مكونيـن فقط من الذرات، ومـع ذلـك؛ مـن الواضـح أن البقـاء على قيـد الحياة هـو أكثر من مجرد مسـألة تعقيد؛ لأن الكائن الحي ليس أكثر تعقيدًا من حيث تركيبته الذرية من كائن حي متطابق ولكنه توفي مؤخرًا.

ومع ذلك، ربما يمكننا أن نحلم بوقت نكون فيه قادرين على الحصول على نظرية فيزيائية موحدة تدعـم كل الظواهر الطبيعية.

حتى ذلك الحين؛ يكفي أن نقول: إن خط التفكير الاختزالي

وصل بنا فقط إلى هذا المدى، ونحن بحاجة إلى استخدام نظريات ونماذج مختلفة اعتمادًا على ما نحاول وصفه.

حدود السمة الكلية

على الرغم من سعينا إلى الوصول لقوانين فيزيائية كلية؛ فإن حدود الاختزال تشير إلى حقيقة أن العالم في بعض الأحيان يمكن أن يتصرف بشكل مختلف تمامًا على مستويات مختلفة، ويحتاج لكي نصفه ونشرحه لاستخدام النموذج أو النظرية المناسبة.

على سبيل المثال: على مقياس الكواكب والنجوم والمجرات، تهيمن الجاذبية على كل شيء، فهي تتحكم في بنية الكون، لكنها لا تلعب أي دور يمكننا اكتشافه على المستوى الذري حيث تهيمن القوى الثلاث الأخرى - الكهرومغناطيسية والقوى النووية القوية والقوى النووية الضعيفة -.

وفي الواقع؛ ربما تكون أكبر مشكلة لم يتم حلها في مجمل الفيزياء - وهي مشكلة سنعود إليها في الفصل الخامس - هي أن قوانين الفيزياء التي تصف كل يوم، ما يسمى بالعالم «الكلاسيكي» للمادة والطاقة والفضاء والوقت، ببساطة لا تنجح عندما نغوص

إلى عالم الذرات الفردية؛ حيث تلعب قواعد ميكانيكا الكم المختلفة جدًا دور المفسر للظواهر الفيزيائية.

حتى على المستوى الكمي؛ نحتاج غالبًا إلى اختيار النموذج المناسب الأكثر قابلية للتطبيق على النظام الذي نرغب بدراسته.

لقد عرفنا منذ أوائل الثلاثينات (١٩٣٠) على سبيل المثال: أن النواة الذرية مكونة من البروتونات والنيوترونات، ولكن في أواخر الستينيات تم اكتشاف أن هذه الجسيمات ليست أولية، وهي في الواقع مكونة من مكونات أصغر: الكواركات.

هذا لا يعني أن علماء الفيزياء النووية أجبروا على وصف خصائص النوى باستخدام نماذج الكوارك.

قد يقترح النهج الاختزالي التبسيطي أن هذا ضروري لوصف أعمق وأكثر دقة للنواة الذرية، لكن هذا لن يكون مفيداً بشكل كبير.

وللتقريب بشكل جيد؛ عند وصف خصائص النوى تتصرف البروتونات والنيوترونات كما لو أنها كيانات غير مركبة مع أنها أنظمة مركبة من ثلاثة كواركات، مع علمنا أن خصائصها وسلوكها يجب أن يكون في النهاية بسبب بنيتها العميقة، فإن هذا ليس واضحًا أو ضروريًا إذا كنا نرغب في فهم خصائص مثل شكل أو ثبات النواة.

في الواقع؛ حتى في الفيزياء النووية نفسها يتم استخدام عدد من النماذج الرياضية المختلفة جدًا - كل منها ينطبق بشكل أفضل على فئة معينة من الأنوية -؛ إذ لا توجد نظرية كلية موحدة للبنية النووية.

هذا ما أعنيه بأن العالم يتصرف بشكل مختلف على مستويات مختلفة من الحجم والوقت والطاقة.

في حين أن اثنين من الأشياء الرائعة في الفيزياء هما: شمولية العديد من نظرياتها والطريقة التي يمكننا من خلالها فهم المزيد عن النظام من خلال التعمق وفهم كيفية ارتباط أجزائه بالكل، فمن الصحيح أيضًا أنه يتعين علينا غالبًا اختيار النظرية الأكثر ملاءمة اعتمادًا على المقياس الذي نهتم به.

إذا كنت تريد إصلاح الغسالة، فلن تحتاج إلى فهم تعقيدات النموذج المعياري لفيزياء الجسيمات - على الرغم من أن الغسالات، مثل أي شيء آخر في العالم، تتكون في النهاية من الكواركات والإلكترونات -؛ فلو حاولنا تطبيق نظرياتنا الأساسية حول الطبيعة الكمية للواقع على كل جانب من جوانب حياتنا اليومية فلن نتقدم كثيرًا.

الآن وقد اكتشفنا كلاً من الإمكانات والقيود لما يمكن أن تخبرنا به الفيزياء - من قوة التناظرات الرياضية التي تدعم قوانيننا

الفيزيائيـة، إلـى النطـاق الهائل الذي يمكـن تطبيق هـذه القوانين عليـه، إلى حـدود الاختزالية والكلية - نحن على اسـتعداد للبدء فيما هو مهم.

في الفصل التالي سأبدأ بالعمود الأول من الأعمدة الأساسية الثلاثة للفيزياء: نسبية آينشتاين.

الفصل الثالث
الزمان والمكان

في مثل هذا الكتاب القصير لا يمكنني تغطية جميع مجالات الفيزياء، رغم أن الكثير منها رائع.

وبدلاً من ذلك؛ قمت بحصر فهمنا الحالي للكون المادي إلى ثلاث أعمدة مركزية: ثلاث صور للواقع تأتي من اتجاهات مختلفة تمامًا: أولها الذي سيتم تقديمه - في هذا الفصل والفصل الذي يليه - وهو مبني على أعمال ألبرت آينشتاين في أوائل القرن العشرين؛ حيث سيتضح فيه فهمنا الحالي للطريقة التي تتصرف بها المادة والطاقة داخل المكان والزمان على أكبر المقاييس نظرًا لتأثير الجاذبية، وهو الفهم الذي تم تضمينه في نظريته الشهيرة النسبية العامة.

ومن أجل رسم صورة آينشتاين للعالم؛ يجب أن نبدأ باللوحة نفسها.

المكان والزمان هما النسيج الذي تقع فيه جميع الأحداث، ومع ذلك؛ فإن مثل هذه المفاهيم زلقة.

يخبرنا الحس السليم أن المكان والزمان يجب أن يكونا منذ البداية ذلك المكان هو المكان الذي تحدث فيه الأحداث ويتم فيه تفعيل قوانين الفيزياء؛ في حين أن مرور الوقت كما اعتدناه لا يرحم، ولكن هل وجهة نظرنا الشائعة للمكان والزمان صحيحة؟

الدرس المهم الذي يجب أن يتعلمه الفيزيائيون هو عدم الوثوق دائمًا بالحسّ السليم.

وبعد كل ذلك؛ يخبرنا الحسّ السليم بأن الأرض مسطحة، ولكن حتى الإغريق القدماء أدركوا أن حجمها الهائل يعني أنه لا يمكننا تمييز انحنائها بسهولة، وكانت هناك تجارب بسيطة يمكنهم إجراؤها لإثبات أنها كانت في الواقع كروية.

وبالمثل؛ تخبرنا التجربة اليومية أن للضوء خصائص الموجة، وبالتالي لا يمكنه أيضًا التصرف كما لو كان مكونًا من تيار من الجسيمات الفردية.

إذا كان الأمر كذلك، كيف يمكننا تفسير أنماط التداخل؟ ومع ذلك فقد ثبت بما لا يدع مجالاً للشك من خلال التجارب الدقيقة: أن حواسنا يمكن أن تخدعنا عندما يتعلق الأمر بطبيعة الضوء، وعندما يتعلق الأمر بالعالم الكمي؛ يجب أن نتخلى عن العديد من المفاهيم اليومية القائمة على الحدس البسيط إذا أردنا أن نفهم حقًا ما يجري.

إن تعلـم عـدم الثقـة دائمًا في حواسـنا هو مهـارة قيّمة ورثها الفيزيائيون عن الفلاسفة.

منذ عام ١٦٤١ جادل رينيه ديكارت في تأملات في الفلسفة الأولى أنه من أجل معرفة أشياء صحيحة تمامًا عن العالم المادي، كان بحاجـة أولاً إلى الشـك في كل شـيء غالبًـا، على الرغم مما تخبره حواسه، هذا لا يعني أنه لا يمكننا تصديق أي شيء يُقال أو يُعـرض علينـا، ولكن وفقًا لمـا ذكره ديكارت؛ فإن تلك الأشـياء الماديـة التـي يـرى أنهـا حقيقيـة؛ «تتطلـب عقـلًا خـالٍ تمامًا من التحيزات، ويمكن فصله بسهولة عن شؤون الحواس»[١].

فـي الواقـع؛ وقبـل أن يفكر ديكارت في ذلـك بوقت طويل، بـدأ عالـم العصور الوسـطى ابـن الهيثم حركة فلسـفية فـي أوائل القـرن الحـادي عشـر عُرفـت باللغـة العربية باسـم: «الشـكوك»، وكتـب كثيـرًا - ولا سـيما عـن الميكانيـكا السـماوية للإغريق - يجب على المرء أن يشـكك في المعرفة السابقة ولا يأخذ ما قيل دون دليل.

هـذا هـو السـبب فـي أن الفيزيـاء كانت دائمًـا علمًـا تجريبيًا

---

(١) مـن طبعـة ١٩١١م، من الأعمـال الفلسـفية لديـكارت (مطبعة جامعة كامبريدج)، ترجمة إليزابيث س. هالدين، صفحة ١٣٥.

يعتمـد علـى الطريقة العلميـة لاختبار الفرضيـات والنظريات من خلال التجريب.

ومـع ذلـك؛ فإن بعـض أهـم الاكتشـافات في الفيزيـاء كانت نتائـج الاسـتنتاجات المنطقيـة المسـتمدة ليـس مـن تجـارب أو ملاحظـات حقيقيـة، ولكـن من «تجـارب فكريـة»؛ حيث يدرس الفيزيائـي بعـض الفرضيات ويبتكـر تجربة تخيليـة يمكنه اختبار نتائجها.

قـد يكـون مـن الممكن أو من غيـر الممكن إجـراء مثل هذه التجربـة فـي الممارسـة العملية، ولكـن لا يزال بإمكانهـا تزويدنا بأداة قيمة للتعرف على العالم من خلال قوة المنطق والاستدلال وحدهما.

أجرى آينشـتاين بعضًا من أشـهر التجارب الفكرية وساعدته في تطوير نظريتيه النسـبيتين، بعـد تطوير نظرياته بالكامل، بالطبع أمكن اختبارها في تجارب حقيقية.

عندما يتعلق الأمر بمعنى المكان والزمان، فإن الصعوبة التي نَواجههـا ليسـت مفاجئـة؛ لأننـا أنفسـنا مسـجونون بداخلهم؛ إذ يصعب تحرير عقولنا من حدود المكان والزمان و «رؤية» الواقع من الخارج.

ومع ذلك وبشكل لا يصدق؛ فإن هذا ممكن.

وفي هذا الفصل، سأوجز فهمنا الحالي لطبيعة المكان والزمان - احتفالًا بما ندين به لآينشتاين ونظريتيه الجميلتين عن النسبية -.

كيف يحدد الفيزيائي المكان والزمان؟

من الخصائص المهمة للفيزياء النيوتونية(*) أن المكان والزمان لهما وجود حقيقي مستقل عن المادة والطاقة الموجودة داخلهما، لكن الفلاسفة في جميع أنحاء العالم فكروا في هذه الفكرة قبل نيوتن بوقت طويل.

على سبيل المثال: اعتقد أرسطو أن الفضاء الفارغ لم يكن موجودًا في حد ذاته - لا يمكن أن يكون هناك مكان بدون مادة -.

بعد ذلك بوقت طويل جادل ديكارت بأن الفضاء لم يكن أكثر من المسافة (أو «الامتداد») بين الأجسام.

ووفقًا لهذين المفكرين العظيمين؛ فإن المساحة الموجودة داخل الصندوق الفارغ موجودة فقط بسبب حدود الصندوق - أزل جدران الصندوق، فإن الحجم الموجود بداخله لم يعد له أي معنى -.

(*) نسبة إلى نيوتن. (المترجم)

لكن دعونا نستكشف هذا المثال قليلاً.

ماذا لو اكتشفت لاحقًا أن الصندوق كان موجودًا داخل مساحة فارغة لصندوق أكبر؟

هل المساحة الموجودة داخل الصندوق الأصغر بعد إزالة جدرانه لا تزال موجودة؛ لأنها تشكل جزءًا من الحجم في الصندوق الأكبر؟

وهل يجب أن تكون «شيئًا» حقيقيًا طوال الوقت؟

تخيل الآن أن الصندوق الأصغر الفارغ - حيث أعني: فارغًا خاليًا من أي شيء: (فراغ) - يتحرك في فراغ موجود داخل الصندوق الأكبر؛ هل المساحة الفارغة داخل الصندوق الأصغر هي نفس المساحة الفارغة التي تتحرك فيها؟ أم أنها تشغل أجزاء مختلفة من المساحة داخل الصندوق الأكبر؟

من السهل الإجابة عن هذا السؤال إذا استبدلنا «المساحة الفارغة» داخل الصندوق الأصغر المغلق بالماء.

عندما يتحرك الصندوق داخل حجم أكبر من الماء، يمكننا قبول أنه يحتفظ بنفس جزيئات الماء بداخله أثناء إزاحة الماء للخارج حين تحركه، لكن ماذا لو لم يكن هناك ماء؟ وماذا لو

تخلصنا الآن من الجدران المادية لكلا الصندوقين، وكل شيء آخر في هذا الكون الخيالي، بحيث يكون كل ما تبقى هو العدم؟ هل هذا العدم لا يزال شيئا؟ هل توجد هذه المساحة الفارغة وتكون جاهزة لملئها بالمادة، أو للاحتواء داخل حدود الصندوق؟ ربما أطرح نفس السؤال بطرق مختلفة، ولكنه ليس سؤالاً تافهاً بأي حال من الأحوال.

يعتقد إسحاق نيوتن أن الفضاء يجب أن يوجد من أجل احتواء المادة والطاقة بداخله ولكي تحدث الأحداث داخله، لكنه جادل بأن الفضاء موجود فقط باعتباره العدم الفارغ، بغض النظر عن قوانين الفيزياء التي تحكم سلوك المادة والطاقة بداخله.

بالنسبة لنيوتن، الفضاء هو القماش الذي يرسم عليه الواقع؛ لأنه بدون مساحة - وزمن بالطبع - لحدث معين «س»، كيف يمكننا تعيين إحداثيات لتحديد موقع الحدث؟

بكل تأكيد؛ يجب أن يحدث في «نقطة ما» في الفضاء وفي «لحظة ما» من الزمن.

بدون المكان والزمان المطلقين، كيف يمكننا أن نأمل في أن نُرسي الواقع؟

لكن هل كان نيوتن محقًا؟

الجواب الذي يمكننا تقديمه اليوم هو نعم ولا؛ لقد كان محقًا من حيث أن الفضاء حقيقي، إنه أكثر من مجرد فجوات بين الأشياء، كما جادل ديكارت، لكنه كان مخطئًا بشأن وجود الفضاء المطلق بصرف النظر عما يحتويه.

تبدو هاتان العبارتان متناقضتان إلى أن تتعرف على النسبية الآينشتاينية.

أثبت آينشتاين أن المكان المطلق والوقت المطلق لا يوجدان ككيانات منفصلة، ولكن لكي ندرك سبب أهمية هذه الفكرة، أحتاج إلى تعريفك بأولى نظريتيه عن النسبية.

نظرية آينشتاين الخاصة

إلى أن أكمل إسحاق نيوتن عمله على قوانين الحركة، كانت النقاشات حول طبيعة الوقت تعتبر مجالًا للفلسفة والميتافيزيقا وليست من أولويات العلوم الطبيعية.

وصف نيوتن كيف تتحرك الأشياء وتتصرف تحت تأثير القوى، وبما أن كل حركة أو تغيير تتطلب إطاراً زمنياً كي تكون ذات معنى، كان يجب على نيوتن تضمين الوقت كجزء أساسي

من وصفه الرياضي للعالم، لكن الزمن النيوتني مطلق وصلب.

إنهُ يتدفق بمعدل ثابت، كما لو كانت هناك ساعة كونية وهمية تدق الثواني والساعات والأيام والسنوات بشكل مستقل عن الأحداث والعمليات التي تحدث في الفضاء.

إلى عام ١٩٠٥؛ حيث تسبب آينشتاين في انهيار العالم النيوتني من خلال الكشف عن كيفية ارتباط الوقت بالمكان على مستوى غاية في العمق.

كان استنتاج آينشتاين أن الوقت ليس مطلقًا: فهو لا يعمل بالمعدل نفسه للجميع.

إذا رأيت حدثين متزامنين - على سبيل المثال: ومَضتان من الضوء من مصادر على جانبي الأيمن والأيسر - لن يراها شخص آخر يتحرك أمامي قد ومضتا في نفس اللحظة، بل يراها واحدة تلو الأخرى؛ هذا لأن معدل تدفق الوقت لكل واحد منا يعتمد على حالة حركتنا بالنسبة لبعضنا البعض.

هذه الفكرة الغريبة هي واحدة من أولى دروس نظرية النسبية وتسمى نسبية التزامن.

دعونا نعود خطوة إلى الوراء وننظر إلى هذه المفاهيم بعناية أكبر.

ضع في اعتبارك كيف تنتقل الموجات الصوتية إلى أذنيك.

الصوت في نهاية المطاف ليس أكثر من اهتزاز جزيئات الهواء التي تمرر الطاقة من خلال تصادماتها.

بدون المادة (الهواء) لن يكون هناك صوت.

في الفضاء لا يمكن لأحد أن يسمع صراخك كما ذُكر في فيلم الثمانينيات «كائن فضائي».

كانت بصيرة آينشتاين تشير إلى أنه على عكس الموجات الصوتية لا تحتاج موجات الضوء إلى وسط ليحملها.

استندت نظريته إلى فكرتين: (تعرفان بمبادئ النسبية).

الأولى: والتي نشأت مع جاليليو، تنص على أن كل حركة تعد حركة نسبية وأنه لا توجد تجربة يمكن إجراؤها لإثبات أن شخصًا أو شيئًا ما في حالة ثبات فعلي.

وينص المبدأ الثاني: على أن موجات الضوء تنتقل بسرعة لا تعتمد على سرعة مصدر الضوء(*).

تبدو هاتان الفكرتان منطقيتان، حتى تحفر عميقًا في آثارهما.

(*) سواء كان مصدر الضوء ثابتا أم متحركا، سرعة الضوء دائما ثابته. (المترجم)

دعونا نفكر في الفكرة الثانية أولاً - أن الضوء يتحرك بنفس السرعة للجميع - وننفذ تجربة فكرية بسيطة.

تخيل سيارة تقترب على طريق ريفي فارغ، الموجات الصوتية تتحرك بشكل أسرع وستصلك من محرك السيارة الأمامي قبل وصول السيارة، مع كون موجات الصوت سريعة، لكن سرعتها تتعلق بمدى سرعة جزيئات الهواء المهتزة في نقلها، وفي مرحلة معينة لن تزداد سرعة الصوت مع زيادة سرعة السيارة، ما يحدث بدلاً من ذلك هو أن الموجات الصوتية تنضغط على أطوال موجية أقصر، هذا هو تأثير دوبلر المعروف الذي ندركه على أنه التغير في النغمة الصوتية حيث تصل إليك أخيرًا وتتجاوزك.

عندما تتجاوزك السيارة، تنبعث موجات الصوت من مسافة أطول بشكل تدريجي، وبالتالي تصل إلينا ممتدة إلى أطوال موجية أطول، وتصلك كنغمة منخفضة. لذلك، في حين أن الطول الموجي للموجات الصوتية يعتمد على سرعة مصدرها، فإن سرعة الموجات نفسها بالنسبة لنا - المدة التي تستغرقها للوصول إلينا - لا تتغير إلا إذا بدأنا بالتحرك عبر الهواء باتجاه السيارة التي تقترب. حتى الآن، كل شيء على ما يرام، كما آمل.

إن الضـوء مختلـف عن ما ذكرناه، فهو لا يحتاج إلى وسـيط لينتقل من خلاله، ولا مرجع لقياس سرعته للمقارنة به؛ هذا يعني أنـه لا يوجد أحـد لديه موقع متميز يمكن أن يقول فيه إنه حقًا في حالـة ثبات تـام وبالتالـي يمكنه قياس سـرعة الضـوء «الحقيقية» بشكل موثوق.

استنتج آينشتاين من هذا أنه يجب علينا جميعًا قياس الضوء ليكـون له نفس السـرعة بغض النظر عن السـرعة التي نتحرك بها بالنسبة لبعضنا البعض - بشرط ألا نمر بأي تسارع أو تباطؤ أثناء قياس سرعة الضوء على بعد مسافة معينه[١] -.

فكر الآن في صاروخين يقتربان من بعضهما البعض بسـرعة ثابتـة وقريبـة من سـرعة الضـوء، لكن ليـس لديهم نقطـة مرجعية للجدل حول من هو ثابت ومن هو متحرك[*].

---

(١) هـذه تفاصيـل فنيـة. تتعامل النسـبية العامة بشـكل أساسـي مـع الأطر المرجعيـة الغيـر قصورية (مـن القصور الذاتي)؛ حيـث يظهر الزمكان منحنيًـا بسـبب الجاذبيـة أو التسـارع، فـي مثـل هـذه الإطـارات الغير قصورية، يمكنك قياس الضوء للحصول على سـرعة ثابتة أثناء مروره بالقرب منك.

(*) تخيـل هذيـن الصاروخين في الفضاء المطلق: ليـس حولهما أي جرم فلكي. (المترجم)

رائد فضاء على متن أحد الصواريخ يرسل نبضة ضوئية نحو الصاروخ الثاني القادم، ليقيس سرعة النبضة أثناء تحركها بعيدًا عنه؛ نظرًا لأنه يمكن أن يدعي بشكل شرعي أنه في حالة ثبات، يطفو في الفضاء الفارغ، بينما يقوم الصاروخ الآخر بكل الحركة، يجب أن يرى الضوء يتحرك بعيدًا عنه بسرعته المعهودة التي تزيد قليلاً عن مليار كيلومتر في الساعة[1]، إنه يرى هذا بالفعل، ولكن في الوقت نفسه، يمكن لرائدة الفضاء في الصاروخ الثاني أن تدعي أيضًا أنها عائمة ثابتة في الفضاء؛ لذلك ستتوقع هي أيضًا أن تقيس سرعة الضوء الذي يصل إليها بما يزيد قليلاً عن مليار كيلومتر في الساعة - نظرًا لأن سرعة الضوء، مثل الموجات الصوتية من السيارة، يجب أن لا تعتمد على السرعة التي يقترب منها مصدرها -.

وهي بالفعل تقيس الضوء للحصول على هذه السرعة.

لذلك يبدو أن كلا رواد الفضاء يقيسان نفس نبضة الضوء بنفس السرعة، على الرغم من حركتهما تجاه بعضهما البعض بسرعة قريبة من سرعة الضوء!

---

(١) سرعة الضوء في الفضاء الفارغ ١,٠٧٩٢٥٢٨٤٨٨ مليار كم / ساعة.

تبين أن هذه الطبيعة الغريبة للضوء هي خاصية للسرعة التي يمكـن الانتقال بها، وليسـت خاصية خاصة بالضوء نفسـه، وهي السـرعة القصوى الممكنة في كوننا والتي تدمج المكان والزمان معًا في نسيج واحد.

الطريقـة الوحيـدة التـي يمكـن للضـوء أن ينتقـل بهـا بنفس السرعة لجميع المراقبين، بغض النظر عن السرعة التي يتحركون بها هم أنفسـهم بالنسبة لبعضهم البعض، هي إذا تغيرت مفاهيمنا عن المسافة والوقت.

هنا مثال آخر: تخيل أنك على الأرض، وترسـل سلسـلة من النبضات الضوئية أو الومضات إلى الفضاء لمطاردة صديق سافر في صاروخ سريع للغاية - صاروخ من صواريخ المستقبل، قوي يمكنـه السـفر بنسـبة ٩٩٪ مـن سـرعة الضوء - سـتقيس نبضات الضـوء لتسـافر بعيـدًا عنـك بسـرعة مليـار كيلومتـر في السـاعة، وبالتالي ستتجاوز صاروخ صديقك ببطء بنسبة ١ في المائة فقط من سـرعة الضـوء، بنفس الطريقة التي تتجاوز سـيارة في الطريق السـريع سـيارة أخـرى تتحرك بسـرعة أقـل بقليل منهـا، فيتخطاه بسـرعة تمثل الفرق بين السـرعتين، ولكن مـا الذي يراه صديقك في الصاروخ إذا كان يتتبع نبضات الضوء المتجاوزة؟

تخبرنا نظرية النسبية أنه سيراه يتخطاه بسرعة مليار كيلومتر في الساعة.

تذكر أن سرعة الضوء ثابتة، ويرى جميع المراقبين أنها تتحرك بنفس السرعة.

الطريقة الوحيدة لفهم ذلك هي إذا كان الوقت على متن الصاروخ يمر بوتيرة أبطأ مما هو عليه على الأرض.

بهذه الطريقة؛ ما تراه تجاوزًا بطيئًا لنبضة ضوء تتجاوز نافذة الصاروخ، يراه صديقك على أنه نبضة ضوئية تمر بسرعة الضوء؛ لأن وقتًا قصيرًا للغاية سينقضي على ساعة دقات الصاروخ البطيئة، على الرغم من أن صديقك يرى ساعته تدق بمعدل طبيعي.

وبالتالي؛ فإن إحدى نتائج رؤية جميع المراقبين للضوء يتحرك بنفس السرعة هي أننا جميعًا نقيس المسافات والأوقات بشكل مختلف.

ونحن بالفعل نرى هذا: ثبات سرعة الضوء لجميع المراقبين حقيقة، تم التحقق منها تجريبيًا مرارًا وتكرارًا، والتي بدونها لن يكون لعالمنا معنى.

تحل النظرية النسبية الخاصة هذا الموقف غير المنطقي بشكل جميل من خلال الجمع بين الوقت والمكان من أجل صياغة شيء يمكننا الاتفاق عليه جميعًا.

تخيل أن الفضاء كله موجود داخل صندوق كبير مستطيل الشكل وثلاثي الأبعاد؛ لتحديد حدث يقع داخل المربع، نخصص له إحداثيات س و ص و ع - مع الإشارة إلى موضعه بالنسبة إلى المحاور الثلاثة في الصندوق - مع قيمة تحدد الوقت، (عند وقوع الحدث).

يخبرنا التفكير السليم أن قيمة الوقت تختلف تمامًا عن الأرقام الثلاثة التي تحدد موقع الحدث في الفضاء.

ولكن ماذا لو تمكنا من إضافة محور زمني إلى الثلاثة محاور؟

يجب أن يكون في «اتجاه» يقع في زوايا قائمة لكل من المحاور المكانية الثلاثة، وهو ما يستحيل علينا تخيله.

هذا من شأنه أن يؤدي إلى حجم مركب رباعي الأبعاد للفضاء والزمان.

من التبسيط الواضح الذي يساعدنا على هذا التصور، التضحية بأحد أبعاد الفضاء وطي حجمنا ثلاثي الأبعاد إلى سطح

ثنائي الأبعاد، تاركًا البعد الثالث المحرّر لاستخدامه كمحور زمني.

الآن، فكر في هذه الكتلة الثابتة من المكان والزمان على أنها شريحة عملاقة من شرائح خبز التوست، حيث يكون اتجاه محور الوقت عمودي على شريحة التوست، ومارًا بجميع شرائح التوست، كل شريحة توست هي لقطة للفضاء كله في لحظة واحدة، بينما تتوافق الشرائح المتتالية مع الأوقات المتتالية.

يُعرف هذا النموذج في الفيزياء بنموذج الكُتلة الكونية، في حين أنه ثلاثي الأبعاد فقط - اثنان من الفضاء وواحد من الوقت -، يجب أن لا ننسى أنه يمثل بالفعل بنية رباعية الأبعاد: الزمكان رباعي الأبعاد.

رياضيًا، ليست لدينا مشكلة في التعامل مع أربعة أبعاد، إنه فقط من غير الممكن تصور هذه الأبعاد.

بإدراك الزمكان رباعي الأبعاد من الخارج، سنستشعر مجمل الوجود، ليس فقط في مجمل الفضاء، بل في جميع الأوقات: الماضي والحاضر والمستقبل، معاشًا ومتجمدًا.

إنها رؤية مستحيلة، رؤية العالم بكل شيء؛ لأننا في الواقع محاصرون دائمًا داخل الكون المحصور ونختبر مرور الوقت

كزحف ثابت على طول محور الوقت، نتحرك بسلاسة من شريحة واحدة من خبز التوست إلى الأخرى، مثل الإطارات في فيلم مكدسة جنبًا إلى جنب بدلاً من لفها من البداية إلى النهاية على بكرة.

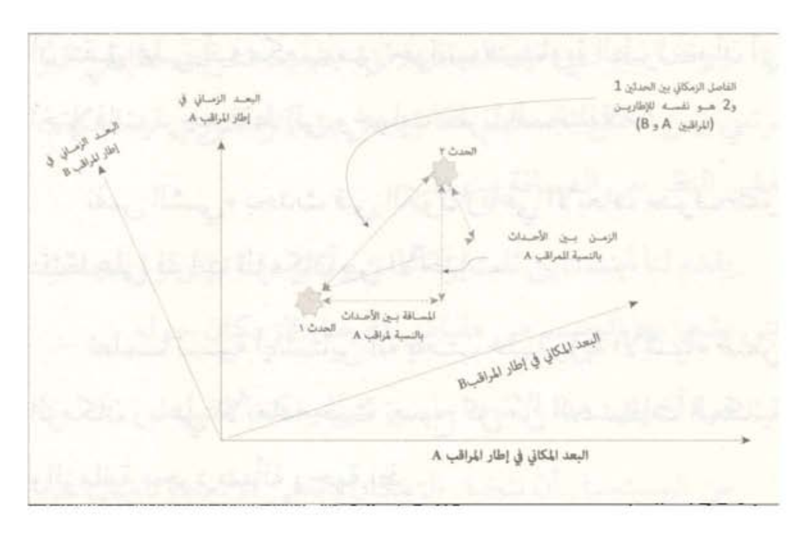
إن السبب في كون مفهوم الكُتلة الكونية مفيد جدًا؛ لأنه يسمح لنا بفهم وجهات نظرنا المختلفة وفقًا للنظرية النسبية.

قد يسجل راصدان يتحركان بسرعة عالية بالنسبة لبعضهما البعض حدثين - لنقل ومضات من الضوء - لكنهما لن يتفقا على مدى تباعد تلك الومضات أو الفاصل الزمني بينهما.

هذا هو الثمن الذي يجب أن ندفعه إذا أردنا أن نرى الضوء يتحرك بنفس السرعة.

بالنظر إلى الأبعاد الأربعة للكُتلة الكونية، يمكن الجمع بين المسافات المكانية والفترات الزمنية؛ وبالتالي فإن الفصل بين أي حدثين، يسمى فاصل الزمكان، سيكون هو نفسه لجميع المراقبين.

إن خلافهم حول المسافات والأزمنة، إذا تم التعامل معه بشكل منفصل، لن يكون أكثر من وجهات نظر مختلفة في الزمكان.



الشكل (١): الأحداث في الزمكان - اثنان من المراقبين، A و B، يتحركان بسرعة عالية بالنسبة لبعضهما البعض، ويرى كلاهما حدثين (ومضات من الضوء)، مفصولة في المكان والزمان. لن يتفقا على المسافة بين الحدثين أو على المدة الزمنية بينهما؛ هذا لأن محاور المكان والزمان مختلفة، ولكن في الزمكان رباعي الأبعاد - تم تجاهل بعدين من الفضاء من أجل التبسيط - يكون الفاصل (الزمكاني) بين الحدثين في كلا الإطارين هو نفسه: المثلثين قائمين الزاوية لهما نفس الوتر على الرغم من أن لكل منهما مسافة فضائية ومسافة زمنية مختلفة.

يمكننا أنا وأنت أن ننظر إلى المكعب من زوايا مختلفة ويكون ما أراه على أنه عمق - المسافة المقاسة على طول خط بصري - لن يظهر لك كما أراه إذا رأيته وجهاً لوجه.

هذا يعتمد على الزاوية التي ننظر إليها، لكن يمكننا مع ذلك

أن نتفق على أنه مكعب من جوانب متساوية الطول، وأن أي اختلافات ترجع فقط إلى وجهات نظرنا المختلفة.

نفس الشيء يحدث في الكون رباعي الأبعاد، سوف نتفق دائمًا على فترات الزمكان بين الأحداث.

تعلمنا نسبية آينشتاين أنه يجب علينا رؤية الأشياء ضمن الزمكان رباعي الأبعاد؛ حيث تصبح كل من المسافات المكانية والزمانية مجرد مسألة وجهة نظر.

لا يحق لأي مراقب أن يدعي أن وجهة نظره عن المكان والزمان أكثر صحة من أي وجهة نظر أخرى؛ لأننا سنتفق جميعًا بمجرد الجمع بين المكان والزمان.

إن المنظورات الفردية للمكان والزمان تعد نسبية وبشكل منفصل، لكن الزمكان المركب مطلق.

نظرية آينشتاين العامة

تمامًا كما تدمج النظرية الخاصة المكان مع الوقت، تربط نظرية النسبية العامة لآينشتاين المكان بالمادة والطاقة، والتي سنناقشها أكثر في الفصل التالي؛ لإعطاء تفسير أكثر عمقًا لمفهوم الجاذبية من وجهة نظر نيوتن.

ووفقًا لنيوتن؛ فإن الجاذبية قوة جذب: شريط مطاطي غير مرئي بين الكتل يجمعهم معًا ويعمل بشكل فوري فيما بينهم، بغض النظر عن المسافة بينهما.

يقدم لنا آينشتاين تفسيرًا أعمق وأكثر دقة: إن قوة الجاذبية التي يشعر بها الجسم هي مقياس لانحناء الزمكان حوله.

مرة أخرى؛ هذا الانحناء ليس شيئًا يمكننا تخيله.

من المستحيل أن نتخيل الزمكان رباعي الأبعاد، ناهيك عن كونه منحنيًا.

بالنسبة لمعظم الأغراض في حياتنا اليومية، يعتبر تصور نيوتن للجاذبية كقوة تقريبًا جيدًا بما يكفي للواقع، لكن عيوبها تصبح أكثر وضوحًا عندما تصبح الجاذبية أقوى بكثير، كمثال على ذلك عندما نقترب من ثقب أسود، أو إذا احتجنا إلى قياس المسافات والأوقات بدقة شديدة، مثل الأقمار الصناعية لنظام الملاحة على متن الطائرة.

في مثل هذه الحالات، نضطر إلى التخلي عن الصورة النيوتنية والاعتناق التام لرؤية آينشتاين للزمكان المنحني.

نظرًا لأن الجاذبية يتم تعريفها من خلال انحناء الزمكان؛ فهذا يعني أنها تؤثر على مرور الوقت وكذلك شكل الفضاء.

بالنسبة لنا، كجزء لا يتجزأ من الزمكان، يتجلى هذا التأثير على أنه تباطؤ في الزمن، بطريقة مشابهة لما نراه عندما تتحرك الأجسام بالقرب من سرعة الضوء.

كلما كانت الجاذبية أقوى، كلما كانت الساعة أبطأ مقارنة بساعة بعيدة عن مصدر حقل الجاذبية، في منطقة «مسطحة» من الزمكان.

لسوء الحظ بالنسبة لأولئك الذين يفضلون شرح الأفكار المعقدة بلغة بسيطة بدلاً من الرياضيات المكثفة، فإن معظم محاولات علماء الفيزياء لوصف كيف ولماذا يمر الوقت ببطء في جاذبية أقوى، تقصر إما عن تفسير الظاهرة بشكل صحيح، أو تقصر عن شرحها على الإطلاق .. لكن سأحاول.

مثلما يتحرك شخصان بالنسبة لبعضهما البعض، وفقًا للنسبية الخاصة، يقيسان ساعة بعضهما البعض بمعدل أبطأ، تنشأ حالة مماثلة بين الراصدين إذا كانا على مسافة ثابتة، لكن أحدهما يشعر بأنه في حقل جاذبية أقوى - على سبيل المثال: شخص على سطح الأرض، بينما الآخر يحوم بعيدًا في الفضاء، مرة أخرى سيختلف الاثنان على الفترة الزمنية بين الأحداث كما كان من قبل - فإن ساعاتهم سوف تدق بمعدلات مختلفة؛ كونه في

بئر أعمق من الجاذبية الأرضية، حيث يوجد المزيد من انحناء الزمكان، فإن ساعة مراقب الأرض سوف تدق ببطء أكثر.

ومع ذلك؛ على عكس النسبية الخاصة، لم يعد الوضع هنا متماثلًا، حيث كانت تُرى عقارب الساعة في الفضاء تدق بسرعة أكبر. بمعنى حقيقي للغاية، تعمل الجاذبية على إبطاء تدفق الوقت.

يمكننا أن نقول أن سبب «سقوط» الجسم على الأرض هو أنه يتحرك دائمًا إلى حيث يمر الوقت بشكل أبطأ - إنه يحاول التقدم في العمر ببطء أكبر - أليس هذا جميلاً؟

الكثير إذن من تأثير الجاذبية على الوقت، لكن ماذا عن الفضاء؟

ماذا تخبرنا النسبية العامة بخلاف الملاحظة غير المفيدة إلى حد ما بأن الجاذبية «تتسبب في انحناء الفضاء»؟

تذكر كيف جادل كل من أرسطو وديكارت بأنه بدون أي مادة تملأ الفضاء، لن يكون للفضاء وجود مستقل؟

حسنًا؛ سيأخذ آينشتاين هذه الفكرة خطوة إلى الأمام وفقًا لنظريته العامة، تخلق المادة والطاقة حقل جاذبية، والزمكان ليس

أكثر من «الخاصية الهيكلية» لهذا الحقل، وبدون «الأشياء» الموجودة في الزمكان، لا يوجد حقل جاذبية وبالتالي لا مكان ولا زمان!

قد يبدو هذا فلسفيًا إلى حد ما، وأظن أنه حتى بعض الفيزيائيين لن يكونوا مرتاحين له.

تكمن المشكلة جزئيًا في طريقة تدريس الفيزياء.

نميل إلى البدء بالنسبية الخاصة والزمكان «المسطح» - لأنه من الأسهل تدريسها، ولأن آينشتاين بدأ بها أولاً -، ثم نتقدم إلى النسبية العامة الأكثر صعوبة، حيث يمتلئ هذا الزمكان بالمادة والطاقة، مما يتسبب في انحناءها.

في الواقع؛ ومن الناحية التصورية، يجب أن ننظر للأمر بطريقة أخرى، حيث يجب أن نبدأ من المادة والطاقة داخل الزمكان.

وبهذه الطريقة، فإن النسبية الخاصة هي مجرد تقريب مثالي يعمل فقط عندما تكون الجاذبية ضعيفة جدًا بحيث يمكن اعتبار الزمكان «مسطحًا».

النقطة التي أرغب في توضيحها هي نقطة دقيقة، ويمكنك

أن تأخذ العزاء من حقيقة أنه حتى آينشتاين نفسه لم يقدّر تمامًا آثارها في البداية.

بعد عامين من إكمال النظرية العامة، كتب كتابًا علميًا مشهورًا - أو «كتيبًا»، كما أشار إليه - بعنوان النسبية: النظرية الخاصة والعامة (عرض للعامة)(*)، والذي نُشر لأول مرة باللغة الألمانية في عام ١٩١٦، على مدى العقود الأربعة التالية من حياته، عندما صقل فهمه بما أخبرته به الرياضيات عن الكون، قام بإضافة ملاحق إلى هذا الكتيب.

في عام ١٩٥٤، أي العام الذي سبق وفاته، كتب ملحقه الخامس والأخير: أربعة وعشرين صفحة من النثر تحتوي على بعض أعمق الأفكار التي قد أنتجها العقل البشري على الإطلاق.

لفهم طريقة تفكير آينشتاين، يجب أن نفهم مفهوم «الحقل» في الفيزياء.

أبسط تعريف للحقل هو أنه منطقة من الفضاء تحتوي على شكل من أشكال الطاقة أو التأثير، حيث يمكن تخصيص قيمة لكل نقطة تصف طبيعة الحقل في تلك النقطة.

(*) اسم الكتاب:

Entitled Relativity: The Special and the General Theory (A Popular Exposition)

فكر في الحقل أو المجال المغناطيسي المحيط بقضيب مغناطيسي، يكون المجال أقوى بالقرب من أقطاب المغناطيس ويصبح أضعف تدريجياً كلما ابتعدنا في الفضاء عن المغناطيس.

إن نمط برادة الحديد التي ترتب نفسها على طول خطوط المجال المغناطيسي هي ببساطة طريقتها للتفاعل مع الحقل الذي انغمست فيه، لكن النقطة التي أرغب في جعلها تبدو واضحة للغاية بحيث تسمح لهذا القول: يحتاج الحقل المغناطيسي إلى مساحة للوجود فيها.

في تناقض صارخ؛ فإن حقل الجاذبية كما وصفه آينشتاين ينشأ من مجرد وجود المادة، هو أكثر من مجرد منطقة تأثير داخل المكان والزمان .. إنه الزمكان.

بذل آينشتاين قصارى جهده في الملحق الخامس من «كتيبه» لتوضيح تفكيره في هذا الشأن.

يقول في مقدمة جديدة لطبعة ١٩٥٤ :

«الزمكان ليس بالضرورة شيئًا يمكن للمرء أن ينسب إليه وجودًا منفصلاً، بشكل مستقل عن الأشياء الحقيقة في الواقع المادي.

الأجسام المادية ليست في الفضاء، ولكن هذه الأجسام

ممتدة مكانيًا؛ بهذه الطريقة يفقد مفهوم «الفضاء الفارغ» معناه.»

ثـم في الملحق الخامـس، أوضح هذا أكثر: «إذا تخيلنا إزالة حقـل الجاذبيـة...، لا يبقـى فضـاء مـن النـوع الأول، أي: فـي الزمكان، لكن لا شيء على الإطلاق.

«الزمكان المسطح» الذي يُحكم عليه من وجهة نظر النظرية العامة للنسبية، ليس فضاءً بدون حقل، لكن حالة خاصة... والتي فـي حد ذاتها ليس لها أهميـة موضوعية.... ما نقول عنه «الفضاء الفارغ» غير موجود، ما هو موجود مساحة بدون حقل».

ويختتـم بــ» الزمـكان لا يدعي وجـوده بمفـرده، ولكن فقط كخاصية هيكلية للحقل».

بالبناء على أفكار أرسـطو وديكارت عمم آينشـتاين فكرة أنه لا يوجـد فـراغ بـدون أجسـام مادية، وأظهـر أنه لا يوجـد زمكان بدون حقل جاذبية.

تمامًـا مثل حقلنا المغناطيسـي؛ فإن حقل الجاذبية هو شـيء مادي حقيقي - يمكنه الانحناء والتمدد والتموج، لكنه أيضًا أكثر جوهريـة مـن الحقـل الكهرومغناطيسـي: يحتـاج الحقـل الكهرومغناطيسـي إلـى وجـود حقـل الجاذبية؛ لأنه بـدون حقل الجاذبية لا يوجد زمكان.

توسع الفضاء

هناك نقطة أخيرة أود توضيحها قبل أن أنتقل للفصل التالي.

هناك ارتباك شائع لدى الكثيرين من فكرة انحناء الزمكان، وهذا يظهر واضحًا عندما يصف الفيزيائيون توسع الكون.

إذا كان الزمكان كتلة كبيرة ثابتة رباعية الأبعاد، فماذا يقصد الفيزيائيون عندما يتحدثون عن توسعها؟ كيف يمكن لشيء يحتوي الوقت المضمن فيه أن يتوسع؟

بالنتيجة؛ تشير كلمة «توسع» إلى شيء يتغير بمرور الوقت، ولكن هذا الشيء يحتوي على الوقت!

الجواب هو: أن تمدد الفضاء الذي نلاحظه من خلال تلسكوباتنا لا ينطوي على أي امتداد لإحداثيات الوقت أيضًا، ليس الزمكان هو ما يتمدد، بل فقط الأبعاد الثلاثة للفضاء تتوسع مع تقدم الزمن.

على الرغم من أن الزمكان ديمقراطي إلى حد ما، مع الوقت وباعتباره مجرد بعد من الأبعاد الأربعة، يمكننا معالجة معادلات النسبية العامة جبريًا، أعني: إعادة صياغتها في شكل مختلف قليلاً بحيث يتم الآن ضرب جميع المسافات بـ «عامل قياس»

حيث يزداد عامل القياس مع تقدم الوقت، وحينها يتسع الفضاء فقط.

تذكر أيضًا أن هذا التمدد يحدث فقط في المساحات الشاسعة بين المجرات؛ لأن داخل المجرات نفسها يكون حقل الجاذبية الذي يربطها معًا قويًا بما يكفي لمقاومة التوسع الكوني الكلي.

إن المجرات مثل الزبيب المغروس في قطعة من الخبز الفرنسي(*) في الفرن، تتمدد قطعة الخبز، لكن حبات الزبيب نفسها تظل بنفس الحجم - رغم أنه يزداد تباعدها عن بعضها البعض -.

فيما يتعلق بالكتلة الكونية، تخيل أن الزمكان المحلي الخاص بنا يجلس داخل «كون الخبز» حيث تصبح الشرائح المتتالية من خبز التوست أكبر كلما تحركنا على طول المحور الزمني من الماضي إلى المستقبل، عائمًا خارج الزمكان، سترى فقط قطعة مكعبة من الخبز الفرنسي ثابتّة بأحجام شرائح متزايدة، لكن من وجهة نظرنا المحصورة داخل شرائح التوست أو داخل

(*) يقصد قطعة خبز مكعبة «قطعة من الخبز عند تقطيعها ينتج لنا ما يشبه خبز التوست». (المترجم)

الزبيب المغذي لشرائح التوست، كل ما يمكننا تجربته هو شرائح أكبـر متتالية، ولذا نرى نقطة - مجرة بعيدة، على سـبيل المثال - تتحرك بعيدًا عنا بينما نتحرك من خلال الشرائح.

علـى الرغـم من كل هـذه المفاهيـم العميقة للغايـة؛ فإن كل شـيء عـن الزمـكان الـذي وصفته في هـذا الفصل يأتـي من أحد الأعمـدة الثلاثـة للفيزيـاء الحديثـة، لكـن الفضـاء وفقًـا للنظريـة النسبية سلس ومستمر.

إذا قمنا بالتكبير، وذهبنا إلى الأصغر ثم الأصغر، سنصل في النهايـة إلـى مجـال العمـود الثاني مـن أعمـدة الفيزيـاء الحديثة: ميكانيـكا الكم؛ حيث يكون كل شـيء غامضًـا وخاضعًا للصدفة وعدم اليقين.

ما الذي يحدث بعد ذلك للمكان والزمان في هذه المقاييس الأصغر من الطول والأقصر من الفترات الزمانية؟

هل سيصبح الزمكان نفسه كحبة، مثل وحدات البيكسل في الصورة التي يتم تكبيرها بما يتجاوز دقتها؟

من الممكن.

سوف نشرح ذلك قريبًا.

يقـول الكـون الكتلـي فـي النظريـة النسـبية أيضًا أنـه يمكننا

التفكير في الوقت على أنه ثابت وغير متغير؛ حيث يتعايش الماضي والحاضر والمستقبل كجزء من الزمكان رباعي الأبعاد، لكن العمود الثالث من أعمدة الفيزياء: الديناميكا الحرارية، تخبرنا أن فكرة الوقت على أنه «مجرد بُعد آخرٍ» غير كافية.

تصف الديناميكا الحرارية الطريقة التي تتغير بها الأنظمة بمرور الوقت أكثر من ذلك، فهي تعطي اتجاهًا للوقت مفقودًا من الأبعاد الثلاثة في الفضاء، بصرف النظر عن تصورنا للوقت أنه يتدفق في اتجاه واحد فقط - والتي نشأت من حقيقة أننا نتذكر الماضي، ونعيش في الحاضر، ونتوقع المستقبل - يوجد سهم للوقت يشير من الماضي إلى المستقبل، ويدمر تناسقاً أنيقاً للكون الكتلي.

لكننا لسنا مستعدين بعد لاستكشاف هذين العامودين الآخرين من أعمدة الفيزياء.

أولاً يجب أن نملأ زمكاننا بالأشياء: المادة والطاقة.

الدرس المستفاد من آينشتاين هو أن المادة والطاقة والفضاء والوقت جميعهم رفقاء حميمون.

سوف نستكشف ما يعنيه هذا في الفصل التالي.

الفصل الرابع
الطاقة والمادة

النظرية العامة للنسبية مغلفة رياضيًا فيما يعرف بمعادلة الحقل لآينشتاين - في الواقع مجموعة من المعادلات التي يمكن كتابتها معًا في شكل مضغوط على سطر واحد -، لكن المعادلات دائمًا لها جانبان مفصولان بعلامة «=»، وشكل الزمكان هو نصف المعادلة فقط، وأرغب الآن في استكشاف الجانب الآخر.

تعبر معادلة آينشتاين عن كيفية تحديد حقل الجاذبية، أو بالأحرى شكل الزمكان، كما تشكله المادة والطاقة.

غالبًا ما يُقال إن معادلة الحقل الخاصة به تُظهر كيف ينحني الزمكان في وجود المادة والطاقة، وفي الوقت نفسه كيف تتصرف المادة والطاقة في الزمكان المنحني.

النقطة المهمة هي أنه تمامًا كما لا يمكن أن توجد المادة والطاقة بدون وجود حيز مكاني ما، فلن يكون هناك على قدم المساواة زمكان بدون مادة وطاقة؛ لذا دعنا نستكشف معاً ما نعرفه عن «أشياء» هذا الكون.

الطاقة هي أحد تلك المفاهيم التي نشعر جميعًا أننا نفهمها بشكل حدسي.

على سبيل المثالك نقول إننا نشعر «بانخفاض الطاقة» إذا كنا جائعين أو متعبين أو مريضين؛ على العكس من ذلك، إذا كنا بلياقة مرتفعة وبصحة جيدة، فقد نشعر «بالحيوية» بما يكفي للتوجه إلى النادي الرياضي.

في بعض الأحيان، يستخدم الناس المصطلح بطريقة غير علمية للغاية في عبارات مثل « يمكنني أن أشعر بالطاقة الإيجابية في الغرفة « أو « أنت تعطي الكثير من الطاقة السلبية «.

في الفيزياء، يشير مفهوم الطاقة إلى القدرة على القيام بعمل؛ وبالتالي، كلما زادت الطاقة التي يمتلكها شيء ما، زادت قدرته على القيام بعمل، سواء كان ذلك «الفعل» يعني نقل المادة من مكان إلى آخر، أو تسخينها، أو مجرد تخزين الطاقة لاستخدامها لاحقًا.

تم استخدام فكرة الطاقة على نطاق واسع في الفيزياء لبضعة قرون منذ أن وجد أنها أكثر فائدة كمفهوم من الفكرة المحسوسة

باتفـاق الجميع «القـوة»؛ حيث يمكننا أن نشـعر بالقوى، لكننا لا نمتلك إحساس مباشر بالطاقة إذا لم تكن بشكل حرارة أو ضوء.

ومـع ذلـك؛ فإن تعريف الطاقـة على أنها القـدرة على القيام بعمـل مـا يربطهـا بفكـرة القـوة؛ لأنـه عندمـا نسـتخدم مصطلـح «الشغل» في الفيزياء، فإننا نعني عمومًا القدرة على تحريك شيء ما ضد قوة مقاومة.

علـى سـبيل المثـال: أحتـاج إلى طاقـة لتحريك قطعـة أثاث ثقيلة على الأرض ضد قوة الاحتكاك، أو لرفع شـيء فوق رأسـي ضـد قـوة الجاذبيـة، وبالمثل؛ تسـتهلك البطارية طاقـة تدفع تيارًا كهربائيًـا عبـر دائرة ضد مقاومة الموصل، وتنتـج الطاقة الحرارية المخزنـة في البخـار ضغطًا لتشـغيل العنفة - التوربينـات - التي تحول هذه الطاقة إلى كهرباء، والتي يمكن اسـتخدامها بعد ذلك لإنتاج عمل ميكانيكي أو ضوء أو حرارة مرة أخرى.

تأتي الطاقة في العديد من الأشكال المختلفة: يمتلك الجسـم المتحـرك طاقـة حركية، يخزن الجسـم في حقـل الجاذبية الطاقة الكامنة، والجسم الساخن لديه طاقة حرارية بسبب حركة ذراته.

ومع صحة كل ما ذكرنا، فإنه في الواقع لا يوصلنا إلى جوهر ماهية الطاقة.

لنبدأ بقانون حفظ الطاقة الذي ينص على أن الكمية الإجمالية للطاقة في الكون ثابتة، ويتبع ذلك - من خلال نظرية إيمي نويثر - فكرة أعمق عن تناظر الوقت: أن جميع قوانين الفيزياء هي «ترجمة زمنية ثابتة»، مما يؤدي إلى الحفاظ على الطاقة الكلية للعمليات الفيزيائية بمرور الوقت.

وقد أدى ذلك إلى رؤى جديدة وعميقة مثل: التنبؤ بوجود جسيمات أولية جديدة.

يخبرنا قانون حفظ الطاقة أيضًا أنه من المستحيل الحصول على آلة ذات حركة دائمة؛ حيث لا يمكن استحضار الطاقة باستمرار من العدم.

ظاهريًا؛ قد تعتقد أن هذا هو كل ما في الأمر: يتم الحفاظ على إجمالي كمية الطاقة في النظام - في الواقع، في الكون بأسره -، على الرغم من أنها تتغير من شكل إلى آخر، ولكن هناك شيء أعمق في طبيعة الطاقة لم أذكره بعد، وبمعنى فضفاض إلى حد ما، يمكننا تقسيمها إلى نوعين: الطاقة المفيدة والطاقة المهدرة - وهو تمييز له نتائج عميقة مرتبطة باتجاه مسار الزمن -.

نحن نعلم أننا بحاجة إلى الطاقة لتشغيل عالمنا، وتغذية

وسائل النقل وصناعاتنا، وتوليد الكهرباء التي نستخدمها لإضاءة منازلنا وتدفئتها، وتشغيل أدواتنا وجميع أجهزتنا الإلكترونية.

في الواقع، يجب أن تتواجد الطاقة للحفاظ على الحياة نفسها.

بالتأكيد هذا لا يمكن أن يستمر إلى الأبد؛ إذن، هل ستنفد طاقتنا المفيدة يومًا ما؟

بنظرة شاملة؛ يمكننا أن نفكر في الكون بأكمله على أنه ساعة ميكانيكية تنفد طاقتها ببطء، ولكن كيف يمكن أن يكون الأمر كذلك إذا كانت الطاقة محفوظة دائمًا؟ لماذا لا يمكن للطاقة أن تدور إلى أجل غير مسمى، وتتغير من شكل إلى آخر، ولكنها تبقى دائمًا حولنا؟

تبين أن الإجابة تعود إلى الإحصائيات البسيطة والاحتمالات، وما يعرف بالقانون الثاني للديناميكا الحرارية، ولكن إذا كنت لا تمانع، فسأحتفظ بهذه المناقشة حتى الفصل السادس.

في الوقت الحالي، دعنا ننتقل من الطاقة إلى المادة.

المادة والكتلة

عندما نتحدث عن طبيعة المادة، نحتاج أيضًا إلى فهم مفهوم الكتلة.

على المستوى الأساسي؛ فإن كتلة الجسم هي مقياس لكمية «الأشياء» التي يحتوي عليها.

في اللغة اليومية، غالبًا ما تُفهم الكتلة على أنها تعني الوزن .. هذا لا بأس به على الأرض؛ لأن الكميتين تتناسبان مع بعضهما البعض: إذا ضاعفت كتلة الجسم فسوف تضاعف وزنه أيضًا، لكن في الفضاء الخالي ليس للجسم وزن، على الرغم من أن كتلته تبقى كما هي.

ومع ذلك؛ حتى الكتلة لا تظل دائمًا ثابتة، كلما تحرك الجسم بشكل أسرع، زادت كتلته، هذا ليس شيئًا ستتعلمه في المدرسة، حتى أن إسحاق نيوتن سيجده مذهلاً؛ لأنه نتيجة أخرى لطبيعة الزمكان كما أوضحتها نظرية النسبية الخاصة لآينشتاين.

إذا كنت تتساءل عن سبب عدم رؤيتنا لهذا في الحياة اليومية؛ فذلك لأننا لا نواجه عادة أشياء تتحرك بالقرب من سرعة الضوء، حيث يصبح التأثير ملحوظًا.

على سبيل المثال: جسم يتحرك بنسبة ٨٧ في المائة من سرعة الضوء، بالنسبة إلى بعض المراقبين سيتم قياسه بواسطة هذا المراقب ليكون له ضعف كتلته في حالة السكون، جسم آخر

يتحرك بنسبة ٩٩,٥ في المائة من سرعة الضوء سيكون له عشرة أضعاف كتلته بالمقارنة مع كتلته «في حالة سكون»، ولكن حتى أسرع رصاصة لا تسافر إلا بنسبة ٠,٠٠٠٤ في المائة من سرعة الضوء؛ مما يعني أننا عمومًا لا نختبر التأثيرات النسبية أو التغييرات في كتل الأجسام المتحركة في حياتنا اليومية.

إن الزيادة في كتلة الجسم مع وصوله إلى جزء كبير من سرعة الضوء لا تعني أنه يكبر حجمًا، أو أن عدد الذرات التي يحتويها يزداد، بل يعني أنه يكتسب المزيد من الزخم - مما يجعل من الصعوبة إيقافه - أكثر مما قد تتوقعه بناءً على كتلته «السكونية».

وفقًا لميكانيكا نيوتن؛ فإن زخم الجسم هو نتاج كتلته وسرعته مما يعني أن زخمه يزداد بما يتناسب مع سرعته - حيث تضاعف سرعته ويتضاعف زخمه -، لكن ميكانيكا نيوتن لا تقول شيئًا عن زيادة الكتل عندما يتحرك الجسم.

تعطينا النسبية الخاصة صيغة مختلفة (وأكثر صحة) «نسبية» للزخم، والتي لم تعد متناسبة مع سرعة الجسم.

في الواقع؛ يصبح الزخم لا نهائي عندما يصل الجسم إلى سرعة الضوء.

هـذه طريقـة مفيـدة لفهـم سـبب عـدم قـدرة أي شـيء على الحركـة بسـرعة أكبـر من سـرعة الضـوء - أحـد تنبؤات النسـبية الخاصة -.

فكر في الطاقة اللازمة لجعل الجسـم يتحرك بشـكل أسرع، عند السرعات المنخفضة يتم تحويل هذه الطاقة إلى طاقة حركية - طاقة الحركة - مع تسريع الجسم، لكن كلما اقترب الجسم من سـرعة الضوء، زادت صعوبة جعله يتحرك بشـكل أسـرع، وكلما زادت الطاقـة التي يتـم وضعها فيه يتم تحويلهـا لزيادة كتلته بدلاً من ذلك.

تأخذنا هذه الفكرة إلى أشهر معادلة في الفيزياء: $E = mc^2$، والتي تربط الكتلة (m) والطاقة (E) معًا (جنبًا إلى جنب مع مربع سـرعة الضـوء c)، وتقتـرح أن الكميتيـن (الكتلـة والطاقـة) قابلة للتحويل كل منهما إلى الآخر؛ بمعنى ما يمكن اعتبار الكتلة على أنهـا طاقـة مجمـدة، ولأن تربيـع سـرعة الضوء عدد كبيـر، يمكن تحويل كمية صغيرة من الكتلة إلى كمية كبيرة من الطاقة، أو على العكس من ذلك، يمكن تجميد كمية كبيرة من الطاقة لتصبح كتلة صغيرة جدًا.

لذلـك نـرى أن قانـون حفـظ الطاقـة يُعمم بشـكل أكثـر دقة

ليصبح قانون حفظ الطاقة والكتلة: إجمالي كمية الطاقة بالإضافة إلى الكتلة في هذا الكون ثابت بمرور الوقت.

لا يوجد مكان أكثر وضوحًا أو أهمية لهذه الفكرة من العالم دون الذري؛ حيث أدت $E = mc^2$ إلى فهم الانشطار النووي وتحرير طاقة النواة الذرية، وهي ($E = mc^2$) التي تقف وراء نصف قرن من معامل تسريع الجسيمات حيث يتم اصطدام حزم الجسيمات دون الذرية معًا في طاقات عالية - أعلى من أي وقت مضى - لإنشاء مادة جديدة - جزيئات جديدة - من طاقة الاصطدام، لكن هناك قواعد مرتبطة بنوع جسيمات المادة التي يمكن تكوينها من الطاقة، وسنناقش بعضها في القسم التالي.

لبنات بناء المادة

منذ أكثر من قرن مضى، عندما قام إرنست رذرفورد، بمساعدة هانز جيجر وإرنست مارسدن، باستكشاف قلب الذرات لأول مرة، من خلال توجيه جسيمات ألفا نحو ورقة ذهبية رفيعة ومشاهدة عدد الجسيمات التي مرت خلالها و كم عدد الجسيمات التي ارتدت، كان الفيزيائيون مهووسين بالتعمق أكثر في العالم دون الذري، لقد كشفوا أولاً عن بنية الذرات نفسها - غيوم إلكترونية تحيط بنواة صغيرة ذات كثافة عالية -.

بعد ذلك؛ نظروا داخل النواة نفسها ليكتشفوا أنها مكونة من كتل بناء أصغر، بروتونات ونيوترونات.

وفي النهاية؛ قاموا بتكبير الصورة بشكل أعمق للكشف عن الكواركات الأولية المخبأة داخل البروتونات والنيوترونات.

لإعطائك فكرة عن هذه المقاييس، إذا تم تضخيم ذرة إلى حجم منزل، فإن حجم البروتون أو النيوترون الذي تكون فيه الكواركات محصورة سيكون بحجم حبة ملح واحدة، وتذكر أن الذرات نفسها صغيرة للغاية: يمكنك ملء كوب من الماء بالذرات، سيكون عددها حينئذ أكثر من عدد أكواب الماء الموجودة في جميع محيطات العالم.

في المدرسة، نتعرف على القوة الكهرومغناطيسية على شكل تجاذب أو تنافر كهربائي أو مغناطيسي، في الواقع تلعب هذه القوى دورًا أكثر أهمية على المستوى الذري.

تترابط الذرات معًا في جميع أنواع التوليفات لتكوين جزيئات بسيطة ومركبات معقدة، وفي النهاية مجموعة كبيرة ومتنوعة من المواد المختلفة التي نراها من حولنا، لكن كيفية ارتباط الذرات ببعضها يعود إلى الطريقة التي ترتب بها إلكتروناتها حول النوى، والتي بكل تأكيد تعتبر جوهر الكيمياء، وهذا

الارتباط بين الذرات معًا لتكوين مادة عالمنا يرجع بالكامل تقريبًا إلى القوى الكهرومغناطيسية بين الإلكترونات.

وفي الواقع إلى جانب الجاذبية، فإن القوة الكهرومغناطيسية مسؤولة بشكل مباشر أو غير مباشر عن جميع الظواهر التي نختبرها في الطبيعة تقريبًا.

على المقياس المجهري؛ إن ما يبقي المواد متماسكة معًا هو القوى الكهرومغناطيسية بين الذرات، أما على المقياس الكوني، فإن الجاذبية هي التي تجعل المادة متماسكة في هذا الكون.

داخل النواة الذرية يوجد عالم مختلف تمامًا؛ نظرًا لأن النوى تتكون من نوعين من الجسيمات، البروتونات موجبة الشحنة والنيوترونات متعادلة الشحنة - تسمى مجتمعة النوكليونات -؛ فإن التنافر الكهرومغناطيسي بين البروتونات ينبغي أن يفصل النوى عن بعضها، والجاذبية ضعيفة جدًا على هذا النطاق الصغير بحيث لا يكون لها أي فائدة.

ومع ذلك؛ فإن مكونات النوى متماسكة بإحكام، هذا بفضل قوة مختلفة تعمل كلاصق لإلصاق البروتونات بالنيوترونات وحتى البروتونات بالبروتونات، على الرغم من تنافر الشحنات الموجبة، يطلق عليها القوة النووية القوية ويتم الشعور بها بقوة

بين المكونات الأصغر من البروتونات والنيوترونات: الكواركات نفسها، والتي ترتبط ببعضها البعض بواسطة «جسيمات حاملة القوة» تسمى الغلوونات، وهكذا بينما تنجذب الكواركات إلى بعضها البعض عن طريق تبادل الغلوونات، فإن الكوارك والإلكترون تتفاعل عبر القوة الكهرومغناطيسية - لأن كليهما لهما شحنة كهربائية - عن طريق تبادل الفوتونات.

إن القواعد الكمية التي تحكم بنية وأشكال وأحجام النوى الذرية معقدة للغاية ولن تتم مناقشتها هنا.

في النهاية ومع ذلك؛ فإن هذا التفاعل بين القوة الكهرومغناطيسية المسببة للتنافر بين البروتونات موجبة الشحنة والقوة النووية الجاذبة بين جميع النيوكليونات - والتي هي في حد ذاتها من بقايا القوة «القوية» - التجاذب الغلوني الداخلي بين الكواركات داخل النيكلونات - هو ما يساهم في استقرار النوى، وبالتالي استقرار الذرات، وبالتالي استقرار كل ما يحيط بنا، بما في ذلك نحن.

هناك أيضًا قوة أخرى: القوة الرابعة والأخيرة من القوى المعروفة في الطبيعة، والتي هي أيضًا - في الغالب - محصورة داخل النوى الذرية، تُعرف ببساطة باسم القوة النووية الضعيفة،

وهـي تنشـأ من تبـادل بوزونات (W و Z) بين جسـيمات معينة – بنفـس الطريقـة التي تتبـادل بها الكـواركات الغلوونـات وتتبادل الإلكترونات الفوتونات –.

مثـل القوة النووية الشـديدة، تعمل هذه القـوة الضعيفة أيضًا فـي نطاقـات قصيـرة جـدًا، ولا نرى تأثيرها بشـكل مباشـر، ومع ذلـك؛ فنحـن على درايـة كبيرة بالعمليـات الفيزيائية التي تسـببها هـذه القـوة؛ لأنهـا تجعـل البروتونـات تتحـول إلـى نيوترونـات والعكس صحيح، مما يؤدي بدوره إلى نشـاط إشـعاعي بانبعاث جسيمات بيتا: الجسيمات المشحونة المنبعثة من النوى.

تأتـي جسـيمات بيتا فـي نوعيـن: الإلكترونـات وقرينتها من المـادة المضـادة البوزيترونـات، وهي نفـس الإلكترونات ولكن بشـحنة معاكسة. العملية بسـيطة للغاية: إذا كانت النواة تعاني من عدم توازن بين عدد البروتونات والنيوترونات التي تحتويها، مما يؤدي إلى عدم اسـتقرارها، فإن واحدًا أو أكثر من البروتونات أو النيوترونات سوف يتحول إلى الآخر لإيجاد التوازن.

في هذه العملية؛ يتم إنشـاء وإخراج إلكترون أو بوزيترون – لضمان الحفاظ على الشحنة الكهربائية –.

وبالتالـي؛ فـإن النـواة التـي تحتوي علـى عدد كبيـر جدًا من

النيوترونات ستخضع لاضمحلال بيتا حيث يتحول النيوترون إلى بروتون، وينبعث إلكترون، حيث تلغي شحنته السالبة الشحنة الموجبة للبروتون الناتج كما هو مطلوب(*) - نظرًا لأن النيوترون الأصلي لم يكن لديه الشحنة -.

وعلى العكس من ذلك؛ فإن الزيادة في عدد البروتونات تدفع أحدها إلى التحول إلى نيوترون بالإضافة إلى بوزيترون ينقل الشحنة الكهربية الموجبة للبروتون لخارج النواة تاركًا وراءه نواة أكثر استقرارًا.

تحتوي كل من البروتونات والنيوترونات على ثلاثة كواركات، والتي تأتي في نوعين - أو «نكهتين» - تُعرف إلى حد ما بشكل غير متخيل باسم «أعلى» و «أسفل»، هاتان النكهتان تحملان أجزاء مختلفة من الشحنة الكهربائية.

يحتوي البروتون على كواركين علويين، كل منهما له شحنة موجبة تعادل ثلثي الشحنة السالبة للإلكترون، وكوارك واحد سفلي بشحنة سالبة تساوي ثلث شحنة الإلكترون فقط، إذا جمعوا معًا؛ فإنهم يشكلون شحنة +١، الشحنة الإيجابية الكاملة للبروتون.

(*) بحيث لو وضع هذا التفاعل على صورة معادلة، يجب دائماً أن تتساوى الشحنات على طرفي المعادلة. (المترجم)

من ناحية أخرى، يتكون النيوترون من كواركين سفليين وكوارك علوي واحد؛ لذا فإن شحنته الإجمالية تساوي صفرًا.

في المجموع؛ توجد ست خصائص مختلفة من الكواركات، ولكل منها كتلة مختلفة، بالإضافة إلى الكواركات العلوية والسفلية التي تتكون منها النوى الذرية، يُطلق على الأربعة الأخرى اسم «غريب» و «ساحر» و «علوي» و «سفلي» - وكلها أسماء تم اختيارها عشوائيًا -.

هذه الكواركات أثقل من «الأعلى» و «الأسفل»، لكنها موجودة بشكل عابر فقط.

أخيرًا؛ بالإضافة إلى الشحنة الكهربائية تمتلك الكواركات أيضًا خاصية أخرى تُعرف باسم شحنة اللون(*)، والتي تتعلق بالقوة النووية الشديدة وتساعد في تفسير الطريقة التي تتفاعل بها الكواركات مع بعضها البعض[1].

(*) هذه المسميات والألوان مجرد ترميز ولها تمثيلات رياضية تساعد في حل المسائل لفهم طبيعة النواة والتفاعلات داخلها. (المترجم)

(١) بالإضافة إلى الكواركات الثلاثة التي تشكل النيوكليونات، يمكن أن تتحد الكواركات على هيئة أزواج (كواركات وكواركات مضادة) لتكوين فئة أخرى من الجسيمات تسمى الميزونات. ما زلنا لا نعرف على وجه اليقين ما إذا كان بإمكان الكواركات أن تتحد لإنتاج =

تنتمـي الإلكترونـات إلى فئة أخرى من الجسـيمات تسـمى اللبتونات، والتي يوجد منها أيضًا ستة أنواع.

إلـى جانب الإلكترون يوجد الميون والتـاون - أبناء عمومة الإلكترون ثقيلان و قصيران في العمر النصفي - وثلاثة أنواع من النيوترينات - خفيفة جدًا، لدرجة تجعل من مهمة اكتشافها عمليًا مهمة بالغة الصعوبة(*)، تتشكل النيوترينات أثناء تحلل بيتا -.

لا تشـعر اللبتونـات بالقـوة النووية القوية ولا تحمل شـحنة ملونة.

لتلخيـص مـا سـبق ووفقًـا لفهمنا الحالـي؛ يخبرنـا النموذج المعيـاري لفيزيـاء الجسـيمات أن هنـاك بشـكل عـام نوعيـن من الجسـيمات: جسـيمات المـادة - الفرميونـات -، والتي تتضمن

= المزيـد مـن الجسـيمات المركبـة الغريبـة، مثـل مـا يسـمى رباعـي الكـواركات، والتـي تتكـون من زوج مـن الكـواركات وزوج أخر من الكـواركات المضادة، أو خماسـيات، بأربعة كواركات وكوارك مضاد واحد.

(*) تـم التنبؤ بالنيوترينات لأول مرة في عام ١٩٥٦م من قبل فريدرك رينز - وجـورج كـوان، أظهروا أن النـواة التي تمر بتحلل بيتـا تصدر نيوترينو مـع الإلكترون، احتاج الفيزيائيون إلى ٣١ عاماً تقريباً لإثبات وجودها عمليًـا، وهـو اكتشـاف حصـد من خلالـه فريدريـك رينز جائـزة نوبل للفيزياء عام ١٩٩٥. (المترجم)

ست خصائص من الكواركات وستة لبتونات، والجسيمات الحاملة للقوة - البوزونات -، والتي تشمل الفوتون، والغلوونات، و W و Z، وبالطبع هيغز بوزون الذي سنناقشه لاحقًا.

إذا كان كل هذا يبدو معقدًا بشكل غير ضروري، فسوف تشعر بالارتياح لسماع أنه بالنسبة لمعظم الأغراض العملية، لا يلزم أن يكون الأمر كذلك.

كل ما تراه: كل الأشياء التي يتكون منها عالمنا، بما في ذلك أجسادنا وكل ما نراه في الفضاء: الشمس والقمر والنجوم، كلها مصنوعة من الذرات، وكل الذرات بدورها تتكون من نوعين فقط من الجسيمات: الكواركات واللبتونات.

في الواقع؛ تتكون كل المادة الذرية من أول نكهتين للكواركات (الأعلى والأسفل)، بالإضافة إلى واحدة من اللبتونات (الإلكترون)، على الرغم من أنك قد تتفاجأ بمعرفة أن الجسيم الأكثر شيوعًا هو النيوترينو.

تاريخ موجز للمادة والطاقة

كيف ومتى ظهر كل هذا في المقام الأول؟

لفهم ذلك؛ فإننا نحتاج إلى نظرة شاملة كي نرى صورة

واسعة تساعدنا مرة أخرى على استكشاف الكون على أكبر المقاييس.

لقد عرفنا منذ قرن أن كوننا يتوسع.

لاحظ علماء الفلك أن الضوء القادم من المجرات البعيدة يتمدد باتجاه النهاية الحمراء للطيف الكهرومغناطيسي - أو الانزياح نحو الأحمر -؛ مما يشير إلى أن هذه المجرات تبتعد عنا.

في الواقع؛ كلما كانت المجرات أبعد، كلما زاد انزياح ضوئها نحو الأحمر، مما يعني أن سرعتها تزداد بشكل أكبر كلما ابتعدت عنا.

ومع ذلك؛ فإن رؤية المجرات تبتعد في كل اتجاه لا يعني أننا نحتل موقعًا متميزًا في مركز الكون، بل يعني أن كل المجرات تبتعد عن بعضها البعض؛ لأن المسافة بينها تتمدد.

لاحظ أن هذا التوسع لا ينطبق داخل عناقيد المجرات، مثل مجموعتنا المحلية: مجرة درب التبانة، مجرة المرأة المسلسلة، ومجموعة من المجرات الأصغر، والتي تكون قريبة بما يكفي من بعضها البعض لتكون مرتبطة بالجاذبية وبالتالي قادرة على مقاومة توسع الفضاء.

لكن قد تتساءل: ما علاقة توسع الكون بأصل المادة والطاقة؟

حسنًا؛ هذا التوسع هو أحد الأدلة الأكثر إقناعًا لدينا لحدوث الانفجار العظيم - في اللحظة قبل ١٣,٨٢ مليار سنة عندما ولد الجزء الخاص بنا من الكون في حالة لا تُصدق من درجات الحرارة العالية والكثافة العالية -.

ببساطة؛ إذا كان الكون الذي نراه يتوسع الآن مع تحليق المجرات بعيدا عن بعضها البعض؛ فلا بد أن كل شيء كان قريبًا من بعضه البعض في الماضي.

في وقت ما؛ إذا عدنا إلى الوراء في الماضي السحيق لدرجة كافية؛ فلا بد أن كل المادة بالإضافة إلى المساحة التي تحتويها، قد تم ضغطها معًا؛ لذلك لا يوجد مكان في الكون يمكننا أن نسافر إليه، ونضع علمًا عليه، ونزعم أن الانفجار العظيم حدث هناك.

حدث الانفجار العظيم في كل مكان في الكون، ولإرباكك أكثر؛ إذا كان حجم الكون لا نهائيًا الآن - كما قد يكون فعلاً -؛ فلا بد أن يكون حجمه غير محدود بالفعل في الانفجار العظيم - بما أنه لا يمكنك توسيع شيء ما إن كان محدودًا لجعله غير محدود، إلا إذا كان لديك وقت غير محدود للقيام بذلك! -.

إن الانفجار العظيم حدث في كل مكان داخل مساحة لا نهائية بالفعل، وليس في «مكان» معين، هذا مفهوم مهم يجب إدراكه.

أكثر حداثة وأكثر منطقية من الناحية المفاهيمية؛ أن نأخذ بهذه الفكرة: وهي أن الانفجار العظيم الذي نشير إليه هو مجرد حدث «محلي»، وهذا الحدث المحلي قد خلق فقط الكون المرئي الذي يمكننا تمييزه، في حين أن الكون اللامتناهي بأكمله يحتوي على مناطق بعيدة أخرى من الفضاء تتجاوز ما يمكن أن نراه، والتي كان لها انفجارات كبيرة خاصة بها.

هذه إحدى طرق شرح فكرة الأكوان المتعددة، والتي سأتطرق إليها في الفصل الثامن.

هناك الكثير من الأدلة الأخرى التي تدعم نظرية الانفجار العظيم أيضًا، مثل الوفرة النسبية للعناصر الخفيفة.

حوالي ثلاثة أرباع كتلة كل المادة التي نراها في الكون هي في شكل هيدروجين، وربعها عبارة عن هيليوم - العنصر الأخف وزناً بعد الهيدروجين[1]-، فقط كمية ضئيلة من جميع العناصر

---

(١) لاحظ، استخدمت كلمة «الكتلة» هنا. من حيث عدد الذرات في الكون، حوالي ٩٢٪ من الهيدروجين و ٨٪ فقط هيليوم (لأن الهيليوم هو أربعة أضعاف كتلة الهيدروجين).

الأخرى، ومعظمها خلقت في النجوم بعد فترة طويلة من الانفجار العظيم.

تنبأت نظرية الانفجار العظيم بهيمنة الهيدروجين والهيليوم على الكون وهذا بالضبط ما نلاحظه، والشيء العظيم هو أننا لسنا بحاجة إلى السفر حول الكون لتحديد هذا التكوين.

يحمل الضوء الذي نجمعه في تلسكوباتنا بداخله بصمة منبهة للذرات البعيدة التي أنتجته أو التي مر الضوء من خلالها في رحلته إلى الأرض.

إن حقيقة أنه يمكننا التعرف على مكونات الكون بمجرد دراسة الضوء الذي يصل إلينا من الفضاء هي واحدة من أجمل المفاهيم في العلم.

الدليل الآخر الداعم للانفجار العظيم - وقد أدى اكتشافه عام ١٩٦٤ أخيرًا إلى تأكيد النظرية بما لا يدع مجالاً للشك - هو وجود ما يسمى بإشعاع الخلفية الكونية الميكروية.

نشأ هذا الضوء القديم الذي يملأ كل الفضاء في وقت ما، بعد فترة ليست طويلة من الانفجار العظيم، عندما تشكلت الذرات المحايدة لأول مرة، خلال فترة في تاريخ الكون تسمى «عصر إعادة التركيب».

حـدث ذلك بعد ٣٧٨ ألف عام من الانفجار العظيم، عندما اتسع الفضاء وبرد بدرجة كافية حتى تتمكن البروتونات وجزيئات ألفا ذات الشحنة الموجبة[١] من التقاط الإلكترونات وتكوين ذرات الهيدروجين والهيليوم.

قبل ذلك؛ كانت الإلكترونات نشيطة للغاية بحيث لا يمكن أن تلتصق بالبروتونات وجسيمات ألفا لتكوين ذرات متعادلة؛ مما منع الفوتونات - جسيمات الضوء - من أن تسافر بحرية كبيرة؛ حيث كانت تصطدم بهذه الجسيمات المشحونة وتتفاعل معها؛ ونتيجة لذلك فإن الفضاء كله قد اتخذ توهجًا ضبابيًا في هذه الحقبة، ولكن بمجرد أن برد الكون بدرجة كافية لتشكيل الذرات، أصبح الفضاء عابرًا وتحررت الفوتونات.

كان هذا الضوء - ولايزال - و منذ ذلك الحين يسافر عبر الكون في جميع الاتجاهات.

هذا الضوء الأول - الذي لا يزال ينتشر منذ الانفجار العظيم - أيضًا يفقد طاقته مع توسع الفضاء، ولكن ليس عن طريق التباطؤ؛ لأن الضوء ينتقل دائمًا بسرعة ثابتة.

---

(١) جسيمات ألفا هي نوى الهيليوم، العنصر الأخف وزناً بعد الهيدروجين، تتكون من أربعة نيوكليونات: بروتونان ونيوترونان.

بدلاً من ذلك؛ فإن الطول الموجي للضوء هو الذي تمدد مع تمدد الفضاء الذي يتحرك خلاله؛ بحيث أنه اليوم بعد بلايين السنين لم يعد في الجزء المرئي من الطيف الكهرومغناطيسي، ولكن في شكل موجات ميكروويف.

قام علماء الفلك بقياس إشعاعات الميكروويف هذه ووجدوا أنها تتوافق مع درجة حرارة الفضاء السحيق أقل بقليل من ثلاث درجات فوق الصفر المطلق - وهي قيمة تتفق مع تنبؤات نظرية الانفجار العظيم - والتي بالمناسبة تم وضعها نظرياً قبل أن يتم قياسها.

لكن دعونا نعود إلى وقت أبكر من حياة كوننا، قبل وقت طويل حتى من تشكل الذرات.

لقد بدأت كفقاعة طاقة شديدة السخونة، وفي غضون تريليون من الثانية تم تبريدها بدرجة كافية لتشكل الجسيمات دون الذرية - الكواركات والغلوونات - حيث تكثفت هذه الطاقة لتشكل هذه الجسيمات مع توسع الفضاء.

بادئ ذي بدء؛ كانت هذه الجسيمات نشطة للغاية وتتجول غير محصورة على هيئة حساء ساخن يسمى بلازما كوارك غلوون، عند درجة حرارة تعادل تريليونات من الدرجات المئوية.

بعد ذلك؛ عندما كان عمر الكون لا يتجاوز جزء من الملايين من الثانية بدؤوا في التكتل معًا لتشكيل البروتونات والنيوترونات - جنبًا إلى جنب مع الجسيمات الثقيلة الأخرى -.

ثم مرت المادة بمراحل مختلفة من التطور في تلك الثواني القليلة الأولى مع تكوُّن واختفاء جسيمات مختلفة.

هنا نواجه أحد أكبر الأسئلة المعلقة في الفيزياء دون إجابة: لغز المادة المضادة المفقودة.

بعد سنوات قليلة من تنبؤ بول ديراك بوجود المادة المضادة، عام ١٩٢٨؛ اكتشف كارل أندرسون المادة المضادة في الأشعة الكونية: جزيئات عالية الطاقة من الفضاء تصطدم أساسًا بجزيئات الأكسجين والنيتروجين في الغلاف الجوي العلوي للأرض لإنتاج وابل من الجسيمات الثانوية، بما في ذلك الجسيم المضاد للإلكترون، البوزيترون.

نحن نعلم الآن أن جميع جسيمات المادة الأولية - الفرميونات - لها أزواج في الصورة متطابقة من المادة المضادة[١].

عندما يتلامس الإلكترون والبوزيترون فإنهما يفنيان بعضهما

---

(١) النوع الآخر من الجسيمات، حاملات القوة مثل الفوتونات، تسمى البوزونات وتقنيًا لا تحتوي على جسيمات مضادة.

البعض تمامًا مع كتلتهما التي تتحد وتتحول إلى طاقة نقية عبر $E = mc^2$.

كما أن هناك إجراء معاكس لعملية فناء الجسيمات هذه، هذا الإجراء يحدث باستمرار في أصغر المقاييس.

إذا تمكنا من تكبير عالم الكم؛ فسنرى الجسيمات والجسيمات المضادة لها تدخل وتخرج من الوجود طوال الوقت في تبادل مستمر بين المادة والطاقة، وهكذا، يمكن للفوتون الذي ليس أكثر من كتلة من الطاقة الكهرومغناطيسية أن يحول نفسه إلى إلكترون وبوزيترون في عملية تُعرف باسم تكوين الأزواج، ولكن في وقت مبكر جدًا من الكون الكثيف عندما كانت الجسيمات والجسيمات المضادة تظهر وتختفي؛ أصبحت المادة لسبب ما هي المهيمنة على المادة المضادة.

حقيقة وجودنا هنا بشكل مطلق تشير إلى أنه لابد بأن المادة هيمنت على المادة المضادة.

لا يزال يتعين علينا فهم ما حدث لـ «المادة المضادة المفقودة»، والتي لحسن الحظ بالنسبة لنا، أدت إلى زيادة وفرة المادة التي نراها اليوم.

بعد دقائق قليلة من الانفجار العظيم، كانت الظروف مناسبة

لتندمج البروتونات - نوى الهيدروجين - معًا لتكوين الهيليوم[1] بالإضافة إلى كمية ضئيلة من العنصر الثالث: الليثيوم، ولكن مع توسع الكون بشكل أكبر انخفضت درجة الحرارة والضغط إلى ما دون عتبة تكوين نوى أثقل من خلال اندماج النوى الأخف؛ هذا لأنه لكي يحدث الاندماج النووي يجب أن تكون نوى الاندماج نشطة بما يكفي للتغلب على التنافر المتبادل لشحناتها الموجبة، ولكن بسبب انخفاض الكثافة ودرجة الحرارة للمادة دون الدرجة الحرجة، توقفت التفاعلات النووية المنتجة لهذه العناصر الثقيلة.

بعد ذلك بقليل، بعد عصر إعادة التركيب؛ بدأت الذرات تتجمع معًا تحت تأثير الجاذبية - ولن أذكر هنا الدور الحيوي الذي تلعبه المادة المظلمة هنا، لكنني سأفصل في ذلك في الفصل الثامن - و بدأت سحب الغاز البدائية في التكون - المجرات الأولية -، وضغطت كتل أكثر كثافة من الغاز بداخلها بشكل أكثر دراماتيكية بواسطة الجاذبية حتى تسخن بشكل كافٍ لبدء عملية الاندماج مرة أخرى، وبسبب الضغط؛ اشتعلت النجوم، وأنتجت التفاعلات النووية الحرارية التي تحدث

(١) من الناحية الفنية، هناك عدة خطوات هنا، بما في ذلك اضمحلال بيتا بين تحولات البروتونات و النيوترونات.

بداخلها عناصر جديدة: الكربون والأكسجين والنيتروجين إلى جانب العديد من العناصر الأخرى التي نجدها على الأرض.

معظم هذا الجيل الأول من النجوم في الكون لم يعد موجودًا؛ لأنها انفجرت على شكل مستعرات عظمى منذ فترة طويلة، وقذفت بالكثير من محتوياتها الأولية في الفضاء، تاركةً ورائها مادة مضغوطة على شكل نجوم نيوترونية أو ثقوب سوداء.

العناصر الأثقل - أي شيء يتجاوز الحديد في الجدول الدوري - يتم إنشاؤها فقط أثناء الأحداث العنيفة مثل المستعرات، والمستعرات العظمى، واندماج النجوم النيوترونية.

كلما كانت الظروف أكثر سخونة وأكثر قسوة في النجم، زادت قدرة عمليات الاندماج النووي، وزادت العناصر التي يمكن تكوينها، مثل الفضة والذهب والرصاص واليورانيوم؛ هذا لأن الأجزاء الداخلية للنجوم تصل إلى درجة الحرارة والكثافة المطلوبة لتكوين عناصر أثقل خلال هذه اللحظات الأخيرة الشديدة من حياتها، عندما يتم ضغطها بكثافة، وفي نفس الوقت تتطاير طبقاتها الخارجية بعنف.

تمتزج المادة المنبعثة من النجوم المتفجرة مع الغازات المتواجدة في الفضاء بين النجوم، والتي لها القدرة على أن تجتمع معًا مرة أخرى لتشكيل جيل جديد من النجوم.

تخبرنـا حقيقـة أننـا وجدنا العناصـر الثقيلة علـى الأرض أن شمسـنا هي نجم من الجيل الثاني - على الأقل -؛ لهذا السـبب ربما سـمعت أنه قيل إننا جميعًا مصنوعون من غبار النجوم؛ لأنه فـي الواقـع تكونت العديـد من الـذرات التي في أجسـامنا داخل النجوم.

الآن أتمنـى أن أكـون قـد أعطيتكـم فكـرة عن كيفية تشـكل المـادة في الكون والعلاقة الحميمة بين المادة والطاقة، والمكان والزمان. إننا مستعدون الآن للانغماس في العالـم المصغر، عالـم صغير جدًا لا يمكن وصفه بالنظرية النسبية العامة.

حـان الوقت لاستكشـاف العمـود الثاني من أعمـدة الفيزياء الثلاثة: ميكانيكا الكم.

الفصل الخامس
عالم الكم

في عام ١٧٩٩ أسس جوزيف بانكس، رئيس الجمعية الملكية في لندن، مؤسسة جديدة: المعهد الملكي لبريطانيا العظمى؛ بهدف تقديم «الاختراعات والتحسينات الميكانيكية المفيدة»، وتعليم عامة الجمهور محاضرات فلسفية وتجارب عملية.

ومنذ ذلك الحين؛ واصل المعهد الملكي إلقاء محاضرات وفعاليات عامة، بما في ذلك الخطابات المسائية يوم الجمعة - المحاضرات العامة التي ألقيت في مسرح محاضرات فاراداي - والتي كانت جزءًا لا يتجزأ من برنامجها منذ أنشأها مايكل فاراداي بنفسه في عام ١٨٢٦.

لقد تشرفت بتقديم محاضرتين فيها، آخرها في عام ٢٠١٣، عندما تحدثت عن موضوع هذا الفصل: ميكانيكا الكم.

يُنظر إلى ميكانيكا الكم عن حق تمامًا على أنها الأكثر روعة، ولكنها في نفس الوقت من النظريات العلمية الأكثر حيرة وإحباطاً للعقل، أكثر من أي نظرية ابتكرتها البشرية على الإطلاق.

في جزء معين من محاضرتي في المعهد الملكي ناقشت «تجربة الشقين» الشهيرة، والتي تصف ما أسماه الفيزيائي الأمريكي ريتشارد فاينمان «اللغز المركزي لميكانيكا الكم».

بعد تحديد مدى روعة نتائج التجربة ذات الشقين - إطلاق جسيمات دون ذرية واحدة تلو الأخرى عبر شاشة بها شقان ضيقان، وتتصرف الجسيمات كما لو أن كلًا منها يسافر عبر كلا الشقين في وقت واحد، مما يؤدي إلى حدوث أنماط التداخل على شاشة ثانية - لقد أصدرت تحديًا لجمهوري: إذا كان أي شخص قادرًا على التوصل إلى حساب «منطقي» لكيفية حدوث ذلك؛ فعليه أن يتصل بي؛ حيث سيحصل وبلا شك على جائزة نوبل إن استطاع ذلك.

لقد قلت هذا على أنه مزحة خفيفة مع العلم أنه لم يجد أحد على الإطلاق تفسيرًا بسيطًا لهذه النتيجة الكلاسيكية على الرغم من عقود عديدة من الجدل ومئات الاختبارات البارعة؛ مما دفع الفيزيائيين إلى الاستنتاج على مضض أن كل ما يحدث ليس له حقًا أي تفسير منطقي.

هذه بالفعل هي الطريقة التي تتصرف بها المادة في العالم الكمي، وعلينا فقط قبولها.

افترضت أيضًا؛ عندما ألقيت التحدي الذي يضرب به المثل، أنني كنت أخاطب بضع مئات من أعضاء جمهور المعهد الملكي مساء يوم الجمعة، لكن المعهد الملكي ينشر الكثير من مواده التعليمية على الإنترنت، بما في ذلك محاضراتي، ومنذ ذلك الحين تلقيت مئات الرسائل الإلكترونية من علماء «هواة» يزعمون أنهم حلوا هذا اللغز الكمي المركزي، ويقترحون أن علماء الفيزياء ربما نسوا النظر في هذه الآلية أو تلك التفاصيل.

كنت أرد على هؤلاء الهواة، لكنني أعترف بأنني لم أعد كذلك؛ لذا اسمحوا لي أن أقوم بالتعويض عن افتقاري للمراسلات مع هؤلاء الأشخاص الذين يستمرون في التفكير في ألغاز ميكانيكا الكم، ويحاولون وصف بعض من أهم ميزات ميكانيكا الكم غير البديهية.

في هذا الفصل سوف نلقي نظرة سريعة على ما يخبرنا به العمود الثاني من أعمدة الفيزياء الحديثة عن العالم المصغر، بعد أن كرست مسيرتي البحثية الخاصة التي دخلت الآن في عقدها الرابع من الدراسات والتطبيقات لفيزياء الكم: أولاً في الفيزياء النووية، ومؤخراً في علم الأحياء الجزيئي.

لن تتفاجأ عندما تسمع أنني أعتبر ميكانيكا الكم أقوى وأهم نظرية في كل العلوم.

فـي نهاية المطاف؛ هي الأساس الذي يبنـى عليه الكثير من الفيزيـاء والكيمياء، وقد أحدثت ثورة في فهمنا لكيفية بناء العالـم من أصغر وحدات البناء.

تمهيد لميكانيكا الكم

بدت حالة الفيزياء في نهاية القرن التاسع عشر مكتملة.

لقد أنتجت ميكانيكا نيوتن، والكهرومغناطيسية، والديناميكا الحرارية - التي سأتحدث عنها في الفصل السادس -، وتبين أن هـذه المجالات الثلاثة للفيزياء معًا وصفت تمامًا حركة وسـلوك جميع الأشـياء التي نراها في الحياة اليومية وجميع الظواهر التي نواجهها تقريبًا من حولنا، من قذائف المدفع إلى الساعات، ومن العواصـف إلـى القطـارات البخاريـة، ومـن المغناطيـس إلـى المحركات، ومن البندول إلى الطائرات.

بشـكل جماعي؛ يشـار إلى دراسة كل هذه الأشـياء بالفيزياء الكلاسيكية، ولا تزال هي ما نتعلمه بشكل سائد في المدارس.

ومع ذلك؛ فإن الفيزياء الكلاسـيكية رغـم أنها لا تزال جيدة، ليست القصة الكاملة.

عندمـا وجـه الفيزيائيـون انتباههم إلى المكونـات المجهرية

للمادة - الذرات والجزيئات - اكتشفوا ظواهر جديدة لا يمكنهم تفسيرها بالفيزياء التي عرفوها.

يبدو أن القوانين والمعادلات التي كانوا يستخدمونها لم تعد قابلة للتطبيق.

كانت الفيزياء على وشك الخضوع لنقلة نموذجية زلزالية.

أول اختراق نظري رئيسي - لمفهوم «الكم» - صنعه الفيزيائي الألماني ماكس بلانك، في محاضرة في ديسمبر ١٩٠٠ اقترح الفكرة الثورية القائلة بأن الطاقة الحرارية التي يشعها الجسم الحار مرتبطة بالتردد الذي تهتز فيه ذراته، وبالتالي؛ فإن هذه الحرارة المشعة هي «متكتلة» وليست متصلة، وتنبعث على شكل حزم منفصلة من الطاقة، والتي أصبحت تعرف باسم الكُمُوم(*).

في غضون بضع سنوات؛ اقترح آينشتاين أنه لم يكن إشعاع بلانك فقط هو الذي ينبعث على شكل كتل منفصلة من الطاقة، ولكن كل الإشعاع الكهرومغناطيسي، بما في ذلك الضوء يتبعث في كميات منفصلة.

(*) الكُمُوم: جمع كم، وهي تعبر عن الكميات المنفصلة للطاقة؛ بحيث تنبعث الطاقة بكميات معينة يوجد بينها فواصل ثابتة لكل ذرة. (المترجم)

نشير الآن إلى كم واحد من الضوء - جسيم من الطاقة الضوئية - ونعبر عنه بالفوتون.

كان اقتراح آينشتاين أن الضوء ذو طبيعة كمومية أكثر من مجرد حدس.

لقد شرح أحد أكبر الألغاز العلمية البارزة في ذلك الوقت، والذي يُطلق عليه التأثير الكهروضوئي، وهي ظاهرة يمكن للضوء فيها عندما يضيء على سطح معدني أن يطرد الإلكترونات من ذرات المعدن.

لا يمكن تفسير هذا التأثير إذا كان الضوء عبارة عن موجة؛ لأنه إذا كان الأمر كذلك؛ فإن زيادة شدة - سطوع - الضوء تعني زيادة طاقته، ونتوقع أن تطير الإلكترونات التي خرجت من المعدن بشكل أسرع، لكن الإلكترونات لا تفعل ذلك.

بدلاً من ذلك؛ ينبعث المزيد من الإلكترونات بزيادة شدة - سطوع - الضوء(*)، ولكن إذا كانت طاقة الضوء متناسبة مع

(*) إذا سُلط ضوء (أحمر على سبيل المثال)، ما لوحظ هو أن زيادة شدة الضوء تزيد من عدد الإلكترونات المتحررة من سطح المعدن، لكن لا تزيد من طاقتها. تزداد طاقة هذه الإلكترونات إذا تم تسليط ضوء ذو تردد أعلى (كالبنفسجي أو ما فوق بنفسجي). وهذا يعني أنه مهما زدت من شدة الإضاءة لمصباح معين، لن ينتج لك سوى عدد أكبر =

تردده وليس شـدته، كما اقترح آينشـتاين؛ فإن زيادة تردده - على سـبيل المثال: من الضوء المرئي إلى فوق البنفسـجي - من شأنه أن يتسبب في إبعاد الإلكترونات بمزيد من الطاقة.

وعلـى العكـس مـن ذلك؛ فإن الحفـاظ على تـردد - لون - الضوء كما هو مع زيادة سطوعه سيعني فقط أنه سيتم إنتاج المزيد مـن الفوتونات؛ وبالتالـي المزيد من الإلكترونـات المتحررة من سطح المعدن.

هـذا هـو بالضبط ما نـراه في التجارب، وقد تناسـب تفسـير آينشتاين معها بشكل جميل.

ومع ذلك؛ كان هناك - ولا يزال - الكثير من الأدلة المضادة التـي تشـير إلى أن الضوء يتكون من موجـات، وليس من تيار من الجسيمات.

إذن ما هو الضوء؟ هل الضوء موجة أم جسيم؟

الجـواب - المحبـط - الذي يطير في وجه الحدس والفطرة السليمة: هو أنه يمكن أن يتصرف كأي منهما؛ اعتمادًا على كيفية نظرنا إليه ونوع التجربة التي نبتكرها لاستكشافه.

= مـن الإلكترونـات ولكن بنفـس الطاقة (جسـيمات: فوتونات مكممة، ذات طاقات معينة). (المترجم)

وليس الضوء فقط هو من لديه هذه الطبيعة الإنفصامية.

يمكن لجسيمات المادة، مثل: الإلكترونات، أن تظهر طبيعة موجية أيضًا.

تُعرف هذه الفكرة العامة التي تم اختبارها وتأكيدها لما يقارب قرناً من الزمان باسم ازدواجية الموجة والجسيمات، وهي واحدة من الأفكار المركزية لميكانيكا الكم.

هذا لا يعني أن الإلكترون عبارة عن جسيم وموجة في نفس الوقت، ولكن بدلاً من ذلك؛ إذا أقمنا تجربة لاختبار طبيعة الإلكترونات كجسيمات، فسنجد أنها تتصرف بالفعل كجسيمات، ولكن إذا أعددنا تجربة أخرى لاختبار ما إذا كان للإلكترونات خصائص تشبه الموجة مثل: الانحراف أو الانكسار أو تداخل الموجة؛ فإننا نراها تتصرف مثل الموجات.

كل ما في الأمر أنه لا يمكننا إجراء تجربة من شأنها أن توضح الطبيعة الموجية والجسيمية للإلكترونات في نفس الوقت.

من الأهمية بمكان التأكيد هنا على أنه بينما تتنبأ ميكانيكا الكم بشكل صحيح بنتائج مثل هذه التجارب، فإن ما لا تخبرنا به هو ماهية الإلكترون - وتخبرنا فقط بما نراه عندما نجري تجارب معينة لاستكشافه -.

السبب الوحيد الذي جعل هذه النتيجة لا تدفع الفيزيائيين إلى الجنون والسخط هو أننا تعلمنا قبولها.

هذا التوازن بين مقدار ما يمكننا معرفته في وقت واحد عن طبيعة جسيم الإلكترون - موقعه في الفضاء-، وطبيعة الموجة -مدى سرعة انتقاله - محكوم بمبدأ عدم اليقين لهايزنبرغ، والذي يعتبر أحد أهم الأفكار في العلم كله وحجر الأساس لميكانيكا الكم.

يضع مبدأ عدم اليقين حدًا لما يمكننا قياسه ومراقبته، لكن الكثير من الناس حتى الفيزيائيين معرضون لسوء فهم معنى ذلك.

على الرغم مما ستجده في كتب الفيزياء؛ فإن معادلات ميكانيكا الكم لا تنص على أن الإلكترون لا يمكن أن يكون له موقع محدد وسرعة محددة في نفس الوقت، لكننا فقط لا نستطيع معرفة كلتا الكميتين في نفس الوقت.

من سوء الفهم الشائع ذو الصلة أن البشر يجب أن يلعبوا دورًا حاسمًا في ميكانيكا الكم: أن وعينا يمكن أن يؤثر على العالم الكمي، أو حتى يجلبه إلى الوجود عندما نقيسه.

هذا هراء!

إن كوننا على طول الطريق وصولاً إلى اللبنات الأساسية له

على النطاق الكمي، كان موجودًا قبل وقت طويل من بدء الحياة على الأرض - لم يكن جالسًا في حالة من الحيرة والغموض في انتظار أن نأتي ونقيسه ونجعله حقيقيًا -.

بحلول منتصف العشرينات من القرن الماضي؛ بدأ الفيزيائيون يدركون أن مفهوم التكميم(*) أكثر عمومية من مجرد «تكتل» الضوء أو «تموج» المادة.

العديد من الخصائص الفيزيائية المألوفة لنا على أنها متصلة، بمجرد التكبير إلى النطاق دون الذري ستجد أنها في الواقع منفصلة - رقمية وليست تناظرية -.

على سبيل المثال: يتم «تكميم» الإلكترونات المرتبطة داخل الذرات، بمعنى: أنه لا يمكن أن يكون لها سوى طاقات محددة معينة ولا توجد طاقات أبدًا بين هذه القيم المنفصلة.

(*) التكميم هنا لا تعني تكميم المعدة، وإن كان تكميم المعدة يساعد في ضبط كمية الطعام، لكن التكميم هنا يقصد به ضبط نطاقات الطاقة بحيث يكون الجسيم الذري (إلكترون على سبيل المثال) في نطاقات معينة مسموحة له، ولا يمكنه الانتقال إلى مستوى من الطاقة يقع بين تلك المستويات، فهي مستويات منفصلة غير متصلة. كساعة رقمية تعرض لك الوقت بأرقام منفصلة (١ أو ٢) بعكس الساعة التناظرية التي تدور عقاربها بمدى متصل فتكون أحيانا العقارب بين ١ و ٢. (المترجم)

بدون هذه الخاصية ستستمر الإلكترونات في تسريب الطاقة أثناء الدوران حول النواة[1]؛ مما يعني أن الذرات لن تكون مستقرة ولا يمكن أن توجد مادة معقدة، بل أنه لا يمكن أن توجد كذلك حياة.

وفقًا للنظرية الكهرومغناطيسية في القرن التاسع عشر - ما قبل الكم -؛ يجب أن تدور الإلكترونات سالبة الشحنة إلى الداخل باتجاه نواة الذرة موجبة الشحنة[*]، لكن حالات طاقتها الكمية تمنع حدوث ذلك.

---

(١) مصطلح «المدار» هنا خاطئ في الواقع، لأن الذرات ليست أنظمة شمسية مصغرة والإلكترونات ليست جسيمات محلية مثل الكواكب الصغيرة التي تدور حول الشمس.

(*) الإلكترونات ليست كالكواكب أو الأقمار الصناعية، فالإلكترون جسم مشحون كهربائيًا، ومن المعروف منذ منتصف القرن التاسع عشر، بحسب النظرية الكهرومغناطيسية أن الشحنة الكهربائية التي تخضع للتسارع - الدوران يعني تغيير مستمر للاتجاه، وخلال تغير الاتجاه يكون هناك تسارع - ستصدر إشعاعًا كهرومغناطيسيًا، مما يؤدي إلى فقدان الطاقة خلال تغيير الاتجاه. يحول هذا الإلكترون الدوار الذرة إلى محطة راديو مصغرة، يبث الطاقة في كل اتجاه، و يكون ناتج الطاقة المنبعث على حساب الطاقة الكامنة للإلكترون؛ وفقًا للميكانيكا الكلاسيكية، فإن الإلكترون سوف يدور ببساطة إلى=

تحدد قواعد كمومية معينة أيضًا حالات الطاقة التي تشغلها الإلكترونات وكيف ترتب نفسها داخل الذرات.

على هذا النحو؛ فإن قواعد ميكانيكا الكم تملي على الذرات كيف يمكنها أن تتحد معًا لتكوين جزيئات، مما يجعل ميكانيكا الكم أساسًا للكيمياء بأكملها.

إن الإلكترونات قادرة على القفز بين مستويات الطاقة عن طريق انبعاث أو امتصاص الكمية المناسبة من الطاقة.

يمكن أن تنخفض الإلكترونات إلى مستوى طاقة أقل عن طريق انبعاث كمية من الطاقة الكهرومغناطيسية (فوتون) بنفس قيمة الفرق في الطاقات بين المستويين المعنيين.

وبالمثل؛ يمكنه القفز إلى مستوى أعلى عن طريق امتصاص الفوتون ذي الطاقة المناسبة.

إن العالم شبه المجهري في مقياس الذرات وأصغر؛ يتصرف بشكل مختلف تمامًا عن عالمنا اليومي المألوف.

عندما نصف ديناميكيات شيء مثل البندول أو كرة التنس أو

= الداخل باتجاه النواة، فيلتحم بها وتنهار الذرة. ولكن وفق ميكانيكا الكم، فإن قواعد اللعبة تحول دون ذلك. (المترجم)

الدراجة أو الكوكب، فإننا نتعامل مع أنظمة تضم العديد من تريليونات الذرات، وهي بعيدة كل البعد عن ضبابية عالم الكم.

يسمح لنا هذا بدراسة الطريقة التي تتصرف بها هذه الكائنات باستخدام الميكانيكا الكلاسيكية ومعادلات نيوتن للحركة، والتي تكون حلولها هي الموقع الدقيق للكائن أو الطاقة أو حالة الحركة، وجميعها يمكن معرفتها في وقت واحد وفي أي لحظة من الزمن.

ولكن إذا كنا نرغب في دراسة المادة في المقاييس الكمية، فيجب علينا التخلي عن ميكانيكا نيوتن واستخدام الرياضيات المختلفة جدًا لميكانيكا الكم.

عادةً ما نحل معادلة شرودنجر لحساب كمية تسمى دالة الموجة، والتي لا تصف الطريقة التي يتحرك بها الجسيم الفردي على طول مسار محدد، ولكن الطريقة التي تتطور بها «حالته الكمية» بمرور الوقت.

يمكن لدالة الموجة أن تصف حالة جسيم واحد أو مجموعة من الجسيمات ولها قيمة احتمالية - على سبيل المثال - إيجاد إلكترون في أي مجموعة من الخصائص أو موقع في الفضاء إذا أردنا قياس موقعه.

إن حقيقـة أن الدالـة الموجيـة لها قيمة في أكثـر من نقطة في الفضاء غالبًا ما تؤخذ خطأً على أنها تعني أن الإلكترون نفسـه قد أصبح كضبابة عبر الفضاء عندما لا نقيسه.

لا تخبرنـا ميكانيكا الكـم بما يفعله الإلكترون عندما لا ننظر له - إنها تخبرنا فقط بما يجب أن نتوقع رؤيته عندما ننظر -.

إذا لـم تطمئن لهذه الحالة؛ فأنت لست وحدك.

لا يُقصـد بذلـك طمأنتـك - أو تثبيـط عزيمتـك فـي هـذا الشـأن -؛ ذاك ببسـاطة يوضح ما يتفق عليه جميع علماء الفيزياء عندما يتعلق الأمر بمعنى ميكانيكا الكم.

علاوة على ذلك؛ هناك مجموعة كاملة من الطرق المختلفة لشـرح طبيعة العالـم الكمي، تُعرف باسـم «تفسـيرات» ميكانيكا الكـم، وقـد احتدمـت الحجـج بيـن المدافعيـن عـن هـذه الآراء المختلفـة منذ ظهـرت ميكانيكا الكم، ولـم تظهـر أي علامة على الاتفاق بعد.

ماذا يعني كل هذا؟

على الرغـم من نجاحها الهائل؛ إذا تعمقنا قليلاً في ما تخبرنا به ميكانيكا الكـم عن العالـم المصغر، قد نفقد صوابنا بسهولة.

نسـأل أنفسـنا: « ولكن كيف يكون الأمر كذلك؟ ما الذي لا يمكنني «فهمه»؟

الحقيقـة هي: لا أحد يعرف حقًا على وجه اليقين، ونحن لا نعرف حتى ما إذا كان هناك أي شيء آخر «لنفهمه».

يميل الفيزيائيون إلى استخدام مصطلحات مثل: «غريب» أو «عجيب» أو «غير بديهي» لوصف العالم الكمي؛ لأنه على الرغم من أن النظرية دقيقة للغاية ومنطقية رياضياً؛ فإن أرقامها ورموزها وقوتهـا التنبؤية هي واجهـة تخفي حقيقة نجد صعوبة في التوفيق بينها وبين نظرتنا الطبيعية المنطقية للعالم اليومي.

ومـع ذلك؛ هناك طريقة للخروج مـن هذا المأزق؛ نظرًا لأن ميكانيـكا الكـم تصف العالـم دون الذري جيدًا بشـكل ملحوظ، وبما أنه مبني على مثل هذا الإطار الرياضي الكامل والقوي، فقد اتضح أنه يمكننا أن نتمكن بشكل جيد منها، من خلال تعلم كيفية اسـتخدام قواعدهـا من أجل الوصول إلى تنبـؤات حول العالـم و تسـخيرها لتطوير التقنيات التي تعتمد على تلك القواعد، تاركين الحيرة وهزهزة الرأس للفلاسفة.

وبعـد كل هـذا؛ فـإن هذا الحاسـوب المحمول الـذي أكتب عليه لن يكون موجودًا لولا تطورات ميكانيكا الكم التي سمحت

لنا بإنشاء إلكترونيات حديثة، لكن إذا اتخذنا هذا الموقف البراغماتي، يجب أن نقبل أننا لسنا أكثر من ميكانيكا الكم - ممارسون وفنيون لا يهتمون بكيفية أو لماذا يتصرف العالم الكمي بالطريقة التي يتصرف بها، ولكنهم يقبلونها ببساطة ويمضون قدمًا -.

تخبرني كل ذرات كياني أن هذا لا ينبغي أن يكون كافيًا لعالم فيزياء.

أليست وظيفة الفيزياء وصف العالم؟

ميكانيكا الكم بدون تفسير معادلاتها ورموزها، هي مجرد إطار رياضي يسمح لنا بحساب نتائج التجارب والتنبؤ بها.

هذا لا ينبغي أن يكون كافياً.

يجب أن تدور الفيزياء حول شرح ما تخبرنا به نتائجنا عن العالم الحقيقي.

حقيقة أن العديد من الفيزيائيين لن يوافقوا على هذا البيان هو فشل يمكن إرجاعه إلى واحد من أعظم المفكرين في تاريخ العَلم: نيلز بور، الأب الروحي لميكانيكا الكم، لقد كان مؤثرًا لدرجة أنه حتى وأنا أكتب هذا عنه، أشعر بالذنب - لأنني أخون أحد أبطالي العظماء -.

ومع ذلك؛ يجب أن أكون وفيا لقناعاتي.

بلا شك؛ شكلت وجهات نظر بور الفلسفية الطريقة التي تفكر بها أجيال من علماء الفيزياء في ميكانيكا الكم، لكنهم أيضًا في نظر عدد متزايد من العلماء أحبطوا التقدم وخنقوه.

جادل بور بأنه من الخطأ الاعتقاد بأن مهمة الفيزياء هي معرفة كيف تكون الطبيعة - أو معرفة «الجوهر الحقيقي للظاهرة» -، ولكن بالأحرى الاهتمام فقط بما يمكننا قوله عن الطبيعة: من ناحية تجربتنا(*).

هاتان النظرتان المتعارضتان: الأولى: الوجودية، والثانية: المعرفية، يمكن أن تكونا في الواقع صحيحتين: ما يجب أن يكون عالم الفيزياء قادرًا على قوله عن الطبيعة، حتى على المستوى الكمي، يجب أن يكون هو نفسه كيف تكون الطبيعة، أو قريبًا منها، بقدر ما نستطيع، ولكن يجب أن نحاول دائمًا الاقتراب أكثر للحقيقة.

إنها وجهة نظر «واقعية» وجدت نفسي أؤيدها دائمًا في النهاية، على الرغم من وجود شكوك جدية بين الحين والآخر.

(*) أي: أنه يجب وصف ما ناره كما هو، دون محاولة إيجاد تفسيرات ومعاني لما نراه. (المترجم)

على الطرف الآخر من المقياس؛ هناك خطر كامن في الظلال إذا بالغنا في التشديد على غرابة ميكانيكا الكم بدلاً من التركيز على قوتها ونجاحها كنظرية علمية.

القيام بذلك يجذب انتباه المشعوذين كما يجذب الضوء الساطع العث.

إن التنبؤات التي لا يمكن إنكارها حول ميكانيكا الكم، مثل: التشابك الكمي - الجسيمات المنفصلة التي يتم ربطها بشكل فوري عبر الفضاء - وفرت على مر السنين أرضًا خصبة لكل أنواع الهراء العلمي الزائف، من التخاطر إلى المعالجة المنزلية.

تم تدريب أجيال من علماء الفيزياء على اتباع عقيدة بور البراغماتية - المعروفة باسم تفسير كوبنهاغن لميكانيكا الكم، والتي سميت على اسم مدينة بور الشهيرة التي يقع فيها معهد الفيزياء النظرية حيث تم وضع الكثير من الأسس الرياضية السابقة للنظرية في منتصف عشرينيات القرن العشرين - جزئيًا لتجنب نوع التأملات الفلسفية التي يمكن أن تمتد إلى هراء العصر الجديد.

مثل جميع طلاب الفيزياء لأجيال؛ تعلمت ميكانيكا الكم

مـن خـلال التعـرف علـى أصولهـا التاريخيـة مـن أعمـال بلانك وآينشـتاين وبـور وآخريـن، لكـن تعليمـي سـرعان ما انتقـل إلى التقنيـات الرياضيـة - مجموعـة الأدوات - التـي احتجـت إليهـا للاستفادة من النظرية.

وإلى جانب الرياضيات؛ تعلمت كومة من المفاهيم سـميت علـى اسـم الآبـاء المؤسسين للنظريـة: قاعـدة بـورن، معادلـة شـرودنجر، مبـدأ عـدم اليقين لهيزنبـرغ، مبدأ الاسـتبعاد لباولي، رموز ديراك، مخططات فاينمان... والقائمة تطول، لكن في حين أن كل هـذا مهـم لمعرفة ما إذا كان علينـا أن نفهم العالم الكمي، فـإن ما لـم أتعلمه هو الحجج والمناقشـات الفلسـفية التي دارت بين كل هؤلاء الفيزيائيين العظماء، والتي استمرت طوال حياتهم، والتي إلى حد كبير- لا تزال - دون حل.

تدور الكثير من المشـاكل التفسيرية لميكانيكا الكم حول ما يسـمى «بمشـكلة القياس»: كيف يصبـح العالم الكمومي سـريع الـزوال محطاً للجـدال عندما نجري القياس؟ أيـن الحد الفاصل بيـن العالميـن الكمي والكلاسـيكي - بين الأشـياء التي ليس لها خصائـص محـددة جيـدًا عند تركهـا دون قيـاس، وبيـن الصلابة المطمئنة لما نقيسه ونراه -؟

يعتقد العديد من الآباء المؤسسين - رجال مثل نيلز بور، وفيرنر هايزنبرغ، وولفغانغ باولي - أنه من غير المجدي القلق بشأن مثل هذه الأمور ودعوا إلى اتباع فلسفة كوبنهاغن التي وصفتها سابقًا.

كانوا سعداء بتقسيم العالم إلى قسمين: السلوك الكمي والسلوك الكلاسيكي، دون تقييد كيفية انتقال أحدهما إلى الآخر بناءً على القياس.

بالنسبة لهم؛ نجحت ميكانيكا الكم وكان ذلك كافياً، لكن هذا الموقف الوضعي يمكن أن يعيق تقدم العلم، في حين أنه قد يساعدنا في الوصول إلى فهم أفضل لبعض الظواهر وحتى تطوير تقنيات جديدة، إلا أنه لا يساعدنا على فهمها حقًا.(١)

إن تاريخ العلم مليء بأمثلة على هذا النوع من المواقف، أحد أكثرها وضوحًا يأتي من علم الكونيات القديم.

منذ ألفي عام منذ العصور القديمة وحتى ولادة العلم الحديث؛ كان هناك هيمنة شبه عالمية وقبول لنموذج مركزية

---

(١) بالطبع، زملائي الكوبنهاغيين (الذين يتبعون فلسفة بور) يختلفون معي بشدة هنا، قد يجادلون بأنهم يفهمون كل ما يمكن فهمه حول ما يمكن أن تخبرنا به ميكانيكا الكم وما لا يمكنها أن تخبرنا به وأن الواقعيين هم الذين يرفضون قبول أو فهم هذا.

الأرض للكون: أن الأرض هي مركز الكون وأن الشمس، إلى جانب جميع الكواكب والنجوم تدور حولنا.

كان أصحاب المنهج الوضعي في ذلك الوقت قد جادلوا بأنه نظرًا لأن هذا النموذج يعمل جيدًا في التنبؤ بحركة الأجرام السماوية، فليس من الضروري البحث عن تفسيرات بديلة لكيف أو لماذا تحركت الأجرام عبر السماء بالطريقة التي نراها.

في الواقع؛ كان هناك وقت كان فيه نموذج مركزية الأرض أكثر بساطة ودقة في مطابقة الملاحظات الفلكية من النموذج الكوبرنيكي الصحيح المتمركز حول الشمس، لكن تفسير النظرية بطريقة معينة «لمجرد أنها تعمل» هو كسل فكري، وبالتأكيد ليس بالروح الحقيقية لما يجب أن تكون عليه الفيزياء .. يجب أن ينطبق الشيء نفسه على ميكانيكا الكم.

قال عالم فيزياء الكم الشهير جون بيل ذات مرة إن هدف الفيزياء هو فهم العالم، «وتقييد ميكانيكا الكم لتكون حصريًا حول العمليات المختبرية المربكة هو خيانة للمشروع العظيم».

من المؤسف أن كثيراً من الفيزيائيين حتى اليوم لا يدركون ذلك، وهذا جدال آخر على أن الفلسفة ليست مجرد سرحان بلا معنى، بل إنها يمكن أن تساهم في تقدم العلم.

إذا كنت ستجري استطلاعًا بين علماء فيزياء الكم - على الأقل أولئك الذين يهتمون بمثل هذه الأمور-؛ فستجد أن جزءًا معتبراً، وإن كان يتناقص، سيظل يتبنى وجهة نظر كوبنهاغن البراغماتية، لكن عددًا متزايدًا يرى أن هذا تنازلاً عن دور الفيزياء، وبدلاً من التسليم لوجهة النظر البراغماتية، يذهب إلى أحد التفسيرات البديلة - قائمة تتضمن أفكارًا غريبة مثل تفسير العوالم المتعددة، وتفسير المتغيرات الخفية، وتفسير الانهيار الديناميكي، والتفسير المتسق للتاريخ، والتفسير العلائقي - ولقد أغفلت بعض التفسيرات الأخرى.

لا أحد يعرف أيا من هذه الطرق المختلفة هي الصحيحة لوصف الواقع بالمقياس الكمي، إن وجد بينها الصحيح.

جميع هذه التفسيرات صالحة.

لقد قامت جميعها حتى الآن بنفس التنبؤات لنتائج التجارب والملاحظات[1]، وجميعها تنبثق من نفس الرياضيات.

في بعض الأحيان؛ يمكن للمدافعين عن هذه التفسيرات المختلفة الدفاع عنها بشكل دوغمائي، والتعامل مع نسختهم

---

(١) على الرغم من أن بعض التفسيرات الواقعية، مثل: نماذج الانهيار التلقائي، تقدم تنبؤات لا تفعلها التفسيرات الأخرى، وبالتالي فهي قابلة للاختبار من حيث المبدأ.

المفضلة كديانة تقريبًا، وهي ليست الطريقة التي سيتقدم بها العلم.

ومع ذلك؛ يتم إحراز تقدم بطيء في محاولة فهم العالم الكمي.

أصبحت التقنيات التجريبية أكثر دقة من أي وقت مضى، وتم استبعاد بعض التفسيرات.

الأمل هو أن نكتشف يومًا ما حقًا كيف تقوم الطبيعة بحيلها الكمومية.

إذا كان هذا يبدو منطقيًا بالنسبة لك، فهناك الكثير من الفيزيائيين الذين سيختلفون معك.

يجادل الوضعيون بأن العلم ليس أكثر من أداة للتنبؤ بنتائج التجارب، وأن أولئك الذين يقلقون بشأن ما تخبرنا به ميكانيكا الكم عن الواقع من خلال قراءة أكثر مما ينبغي في رياضياتها هم بالفعل أكثر ملاءمة للقيام بالفلسفة بدلاً من الفيزياء.

للإنصاف؛ لا يؤيد الكثيرون هذه النظرة الوضعية - نظرة الكوبنهاغيون للواقع، الاكتفاء بما تقره التجربة وعدم محاولة التعمق أكثر -.

في أوائل العقد الأول من القرن الحادي والعشرين؛ ظهر تفسير جديد مناهض للواقعية يُدعى ميكانيكا بيشان الكمية، والذي يرى أنصاره أن الواقع غير موضوعي تمامًا ويعود إلى التجربة الشخصية، حتى أن النقاد شبّهوا ذلك بالذاتوية(*).

يجب أن يكون اختيار تفسير ما لميكانيكا الكم أكثر من مجرد مسألة ذوق فلسفي.

حقيقة أنها جميعًا تقدم نفس التنبؤات لا يعني أن كل هذه التفسيرات متكافئة أو أننا أحرار في اختيار التفسير الذي نفضله بشكل أكبر لمجرد نزوة.

إن شرح بعض جوانب الواقع من خلال الفيزياء عملية من خطوتين: أولاً: نجد النظرية الرياضية، والتي بالطبع قد تكون صحيحة وقد لا تكون كذلك، ولكن إذا اعتقدنا أنها صحيحة - مثل معادلات آينشتاين لحقول الجاذبية للنسبية العامة أو معادلة شرودنجر في ميكانيكا الكم - فإننا نحتاج بعد ذلك إلى طرق لتفسير أو شرح ما تعنيه الرياضيات.

(*) الذاتوية: هي فكرة فلسفية تقول بأنه لا وجود لشيء غير الذات أو غير الأنا، أو لا وجود حقيقي إلا لعقل الفرد، وهي موقف معرفي يقول بأن المعرفة المتعلقة بأي شيء خارج عقل الإنسان هي معرفة غير مؤكدة. (المترجم)

هذه هي القصص التي نربطها بالرياضيات.

بدون هذه القصص لا يمكننا ربط رموزنا ومعادلاتنا - مهما حققت من نواحي جمالية - بالكون المادي الذي نلاحظه، ونحتاج إلى إيجاد القصة الصحيحة تمامًا مثل النظرية الرياضية الصحيحة.

ترسم التفسيرات المختلفة لميكانيكا الكم صورًا مختلفة جدًا للواقع: إما أن تكون هناك أكوان متوازية - تفسير العوالم المتعددة - أو لا توجد؛ إما أن يكون هناك حقل كمي مادي تخاطري - تفسير المتغيرات الخفية للموجة التجريبية - أو لا يوجد.

لا تهتم الطبيعة بمشاحناتنا الصغيرة فيما يتعلق بالتفسير الصحيح لميكانيكا الكم؛ فهي تواصل فعل الأشياء بالطريقة التي تعمل بها، وتعمل بشكل مستقل عن تصوراتنا.

إذا كانت لدينا مشكلة في الاتفاق على سلوك العالم الكمي، فهذه هي مشكلتنا.

آينشتاين لديه هذا التصور، كان واقعيًا أيضًا، لقد كان يعتقد أن الفيزياء يجب أن تدور حول وصف كيف يكون العالم بحقيقته، وإذا كان هناك أكثر من وصف واحد يناسب رياضيات ميكانيكا الكم، فلا ينبغي أن نسلم لذلك.

أشعر أنني مع رفقة جيدة في هذا المنحى.

التشابك والقياس وفك الترابط

بعد قولي هذا؛ حتى آينشتاين قد يخطئ في بعض الأحيان.

في واحدة من أكثر تنبؤات ميكانيكا الكم عمقًا والتي لا يمكن تفسيرها، ألا وهي فكرة التشابك الكمي.

في عالم الكم يمكن ربط جسيمين أو أكثر عبر الفضاء بشكل فوري بطريقة تتحدى المنطق تقريبًا.

من الناحية الفنية يُعرف هذا باسم اللاموضعية، ويمكن تلخيصه في فكرة أن ما يحدث «هنا» يمكن أن يؤثر بشكل فوري على ما يحدث «هناك» ويتأثر به، ونقول إن الجسيمين موصوفان بنفس «الحالة الكمية»: نفس الدالة الموجية.

لطالما شعر آينشتاين بعدم الارتياح حيال اللاموضعية والتشابك الكمي، وسخر منها على أنها «تأثير شبحي عن بعد»، ورفض قبول أن أي اتصال بين الجسيمات دون الذرية يمكن أن ينتقل عبر الفضاء أسرع من الضوء؛ لأن ذلك ينتهك النسبية الخاصة.

ولكن من حيث المبدأ؛ لا يزال من الممكن ربط الجسيمات الواقعة على طرفي نقيض من الكون بهذه الطريقة.

وقد أظهر رواد الكم أن التشابك ينتج بشكل طبيعي من معادلاتهم، وأكدت التجارب التي أجريت في السبعينات والثمانينات أن آينشتاين كان مخطئًا في هذا الصدد.

نحن نعلم الآن تجريبيًا أن الجسيمات الكمومية يمكن أن يكون لها بالفعل اتصال فوري بعيد المدى، فكوننا في الحقيقة لا موضعي.

اليوم يرى العديد من الباحثين العاملين في مجالات مثل: البصريات الكمومية، ونظرية المعلومات الكمومية، وحتى الجاذبية الكمومية، رابطًا عميقًا بين التشابك والمشكلة المركزية للقياس في ميكانيكا الكم.

يجب أن نعترف أولاً بأن النظام الكمي - لنقل الذرة - هو في الواقع جزء من العالم المحيط به، وبالتالي؛ فإن التعامل معه على أنه معزول ليس صحيحًا على الإطلاق.

بدلاً من ذلك؛ يجب أن ندرج في حساباتنا تأثير البيئة المحيطة بها.

يقدم لنا مثل هذا « النظام الكمي المفتوح « مشكلة أكثر تعقيدًا لحلها، ولكن في الوقت نفسه، يسمح لنا بإحراز بعض التقدم في فهم ما يعنيه إجراء قياس على نظام كمي يتجاوز ما

أشـار إليـه نيلز بور بشـكل مبسـط «فعـل تضخمـي لا رجعة فيه» كطريقـة لوصـف كيف يتبلور الغموض الكمـي إلى حقيقة عندما نجري ملاحظة ما.

فـي الواقـع؛ أصبح من الواضح الآن أن البيئة المحيطة بنظام كمي، كالذرة، يمكن لهذه البيئة أن تكون أداة «القياس».

نحن لا نحتاج إلى مراقب ذي وعي.

يمكننا التفكير في أن الذرة أصبحت أكثر تشابكًا مع محيطها، بحيـث تتسـرب طبيعتهـا الكمية إلـى البيئة مثل تبـدد الحرارة من الجسـم الدافئ، يُعرف هذا التسـرب من السلوك الكمومي العابر بفك الترابط، وهو جزء من منطقة دراسة نشطة في الوقت الحالي، فكلما كان الاقتران أقوى بين النظام الكمومي وبيئته؛ أصبح أكثر تشابكًا، واختفى سلوكه الكمومي بشكل أسرع.

إن هـذه العمليـة ومـا إذا كانت تشـرح بشـكل كامل مشـكلة القياس أم لا؛ لا تزال مسألة نقاش في بعض الأوساط.

اشـتهر إروين شـرودنجر بالمسـألة الشـائكة المتعلقة بكيفية حـل مشـكلة القيـاس والحـدود بيـن العالـم الكمـي والعالـم الكلاسـيكي الكبير في منتصف الثلاثينيـات، عندما تقدم بتجربته التخيلية الشهيرة.

على الرغم من كونه أحد رواد ومؤسسي هذا المجال؛ حاول شرودنجر تسليط الضوء على مخاوفه الخاصة حول معنى ميكانيكا الكم، سأل عما سيحدث إذا أغلقنا على قطة في صندوق به مادة مشعة وعبوة بها سم قاتل.

في الوقت الذي يكون فيه الصندوق مغلق؛ لا يمكننا تحديد ما إذا كان الجسيم قد انبعث من المادة المشعة أم لا، والذي بدوره سيؤدي إلى بدء آلية تطلق السم، وتقتل القطة.

كل ما يمكننا فعله هو أن ننسب الاحتمالات إلى النتيجتين المحتملتين: عندما نفتح الصندوق، إما أن يكون الجسيم قد انبعث وماتت القطة، أو أنه لم ينبعث، وبالتالي لم تمت، ولا تزال على قيد الحياة، لكن وفقًا لقواعد ميكانيكا الكم، وطالما كان الصندوق مغلقًا، فإن الجسيم دون الذري يخضع لقوانين العالم الكمي، ويجب أن نعتبره في حالة تراكب كمي لكونه قد انبعث ولم ينبعث في نفس الوقت.

لكن الآن؛ داخل الصندوق المغلق يقع مصير القطة على هذا الحدث الكمي.

جادل شرودنجر أنه نظرًا لأن القطة نفسها مكونة من ذرات، وإن كانت تريليونات منها، فإن كلاً منها يعد كياناً كمياً، ويجب

أن توجـد أيضًـا فـي تراكـب كمي: حالة مـن المـوت والحياة في نفس الوقت.

ومـع ذلـك؛ نحن لا نرى سـوى نتيجة واحـدة محددة عندما نفتح الصندوق، وهذا يعني: أن القطة إما ميتة أو على قيد الحياة، وليست في حالة من اللايقين.

تتمثـل الطريقة المعقولة لحل المشـكلة فـي افتراض أن مثل هـذه التراكبات الكمومية تتفكك وتزول في محيطها، وبالتالي لا تبقـى لفتـرة طويلـة عندما نفكر في الأشـياء العيانيـة المعقدة مثل القطط، والتي لا توجد أبدًا في حالتين في وقت واحد، حتى قبل أن نفتح الصندوق للتأكد.

فـي الواقع؛ بينما يجب وصف الذرة المشـعة المعزولة بأنها فـي حالـة تراكب من حيـث أنها تحللـت ولـم تتحلل إلـى أن يتم ملاحظتهـا، فإنهـا محاطة ببيئـة معقدة من الهـواء، وعداد جيجر، والقطة، وكلها تصبح متشابكة بسرعة معًا، وبالتالي خيار الحالتين في آن واحد سيزول في مثل هذا المحيط.

إذن؛ هل تم حل المشكلة؟ وهل خيارا القطة الميتة أو الحية لا يعكسان الآن سوى جهلنا بمصيرها، حتى نفتح الصندوق؟

إذا لم يكن الأمر كذلك؛ فلا يزال لدينا اللغز: ما هي العملية

الفيزيائية التي تحدث عندما نفتح الصندوق؟ ماذا حدث للخيار الذي لا نراه؟

يعتقد المنضمون لتفسير العوالم المتعددة لميكانيكا الكم أن هناك تفسيرًا أنيقًا وبسيطًا لذلك، يجادلون بأن هناك الآن حقيقتين متوازيتين يتحقق فيهما كل خيار، وما نجده عندما نفتح الصندوق يعكس الواقع الذي نعيش فيه فقط.

فيزيائيون آخرون غير مستعدين لقبول فكرة وجود عدد لانهائي محتمل من الحقائق الموازية؛ توصلوا إلى مجموعة من التفسيرات البديلة التي لا تزال تتطلب وجود واقع موضوعي في غياب القياس، ولكنها تحتوي جميعها على جانب غريب من الحقيقة المخبأة في مكان ما.

على سبيل المثال: طور الفيزيائي الفرنسي لويس دي برولي طريقة أخرى لتفسير نظرية الكم لأول مرة في عشرينيات القرن الماضي، ثم حسنها بعد عدة عقود ديفيد بوم.

وفقًا لهذا التفسير؛ فإن العالم الكمي يتكون من جسيمات تسترشد بالموجات، خصائصها مخفية عنا - وتسمى المتغيرات الخفية - لكنها تصف العالم الكمي دون أي ضبابية كتلك الضبابية التي تقدمها صورة كوبنهاجن القياسية للواقع؛ فبدلاً من أن يظهر الإلكترون نفسه خصائص تشبه الموجة أو الجسيمات

اعتمادًا على كيفية قياسنا له، فهناك موجات وجسيمات معاً، ولكن الجسيمات هي فقط التي نكتشفها.يشعر مجتمع صغير من علماء الفيزياء حول العالم أن ما يسمى بنظرية دي برولي بوم لديها الكثير لتقدمه، لكنها تظل خيارًا غير مستكشف إلى حد كبير بين مجموعة التفسيرات الكمومية.

على الرغم من أن نقاش تفسيرات ميكانيكا الكم رائع، إلا أنني سأترك هذه المناقشة هنا؛ لأن العديد من الكتب الأخرى تغطيها بعمق أكبر، حيث لا مساحة كافية في هذا الكتاب لتغطيتها.

على أي حال؛ أترك مسألة تفسير ميكانيكا الكم دون حل؛ لأن هذا هو الحال في الوقت الحالي.

بعد أن ركزت حتى الآن على اللبنات الأساسية للمادة والطاقة، والزمكان الذي توجد فيه، والطبيعة الكمومية للواقع التي تدعمها كلها، فقد تجاهلت بعض المفاهيم الأساسية في الفيزياء التي تظهر عندما تتجمع أعداد كبيرة من الجسيمات معًا لتشكل أنظمة معقدة؛ لذا دعونا نترك عالم الأشياء الصغيرة وراءنا الآن، وننظر بشكل أوسع مرة أخرى لاستكشاف ما يحدث مع ظهور التعقيد الناتج من تراكب هذا العدد الكبير من الذرات، واستكشاف أفكار عميقة مثل النظام والفوضى والإنتروبيا وسهم الزمن.

الفصل السادس

الديناميكا الحرارية وسهم الزمن

بينما نترك وراءنا العالم الكمي بعشوائيته وعدم اليقين فيه؛ يعود عالمنا النيوتني المألوف إلى بؤرة تركيز حادة.

إن الفنجان الذي تعوم فيه القهوة المتبخرة على الطاولة، أو الكرة التي تطبطب للتو في الحديقة الخلفية من المنزل المجاور، أو الطائرة النفاثة التي تحلق عالياً، كلها - إذا فكرت في الأمر - مصنوعة من المادة والطاقة، مجمعة في أنظمة ذات مستويات مختلفة من التعقيد؛ لذا .. إذا أردنا فهم فيزياء العالم الذي نراه من حولنا، فنحن بحاجة إلى فهم كيفية تفاعل الجسيمات وتصرفها في مجموعات كبيرة.

إن مجال الفيزياء الذي يساعدنا على فهم سلوكيات أعداد كبيرة من الجسيمات المتفاعلة هو الميكانيكا الإحصائية.

قد تتذكر أيضًا أنه أثناء التعرف على المادة والطاقة في الفصل الرابع، تطرقنا إلى حقيقة أن الطاقة يمكن أن تتحول من شكل إلى آخر بينما تظل الكمية الإجمالية للطاقة في النظام كما هي.

تتقلب طاقة الكرة التي تطبطب باستمرار بين طاقتها الكامنة بسبب ارتفاعها عن الأرض وطاقتها الحركية.

في أعلى ارتفاع من ارتدادها من الأرض، تكون بالكامل على شكل طاقة وضع «طاقة كامنة»، وقبل أن تصل إلى الأرض مباشرة، حينها تكون الكرة بأعلى سرعة ممكنه لها، تكون هذه الطاقة الكامنة قد تحولت إلى طاقة حركية.

كل هذا يبدو واضحًا إلى حد ما، لكننا نعلم أيضًا أن الكرة لن تستمر في الارتداد والطبطبة إلى الأبد: إن الكرة تفقد من طاقتها المتحولة إلى حرارة، من الاحتكاك مع الهواء ومن الاصطدام بالأرض.

هذا التغيير من الطاقة الحركية إلى الحرارة يختلف اختلافًا جوهريًا عن التحول بين الطاقة الحركية والطاقة الكامنة؛ لأنها عملية أحادية الاتجاه.

سنندهش إذا رأينا الكرة تستعيد ارتدادها بنفس القوة فجأة، دون أي مساعدة خارجية.

فلماذا يكون الأمر على هذه الحالة؟ من أين تأتي «أحادية الاتجاه»؟

الجواب هو: أن الكرة تفقد ارتدادها لنفس السبب الذي

يجعل الحرارة تتدفق دائمًا من فنجان قهوة دافئ إلى الهواء المحيط البارد ولا تعود أبدًا مرة أخرى، ولنفس السبب لا يعود السكر والقشدة بعد خلطهما بالقهوة أبدًا ولا ينفصلان.

مرحبًا بكم في مجال الديناميكا الحرارية - العمود الثالث من أعمدة الفيزياء الثلاثة - جنبًا إلى جنب مع النسبية العامة وميكانيكا الكم -.

بينما تصف الميكانيكا الإحصائية كيف يتفاعل ويتصرف عدد كبير من الجسيمات في نظام ما، تصف الديناميكا الحرارية حرارة وطاقة النظام والطريقة التي تتغير بها بمرور الزمن.

كما سترى؛ فإن مجالات الدراسة هذه مترابطة بشكل كبير، ولذلك غالبًا ما يتعلمها الفيزيائيون معًا.

سنلقي نظرة عليها معًا أيضًا.

الميكانيكا الإحصائية والديناميكا الحرارية

ضع في اعتبارك صندوقًا مليئًا بالهواء حيث تتصادم جميع الجزيئات بشكل عشوائي، بعضها يتحرك بسرعة، والبعض الآخر بشكل أبطأ، ولكن إذا تم الحفاظ على الصندوق عند درجة حرارة وضغط ثابتين؛ فإن الكمية الإجمالية للطاقة التي يحتويها

تظل ثابتة، يتم توزيع هذه الطاقة بين جزيئات الغاز بطريقة دقيقة جدًا: يتم توزيع إجمالي الطاقة المتاحة وفقًا لقاعدة إحصائية بسيطة.

لنفترض أنك قمت بحقن بعض الهواء الساخن - جزيئات أسرع حركة - في الصندوق ثم تركته وشأنه: الاصطدام العشوائي لهذه الجزيئات الجديدة مع الجزيئات الأصلية ستؤدي إلى توزيع طاقتها، سوف تتباطأ الجزيئات الساخنة بينما تؤدي في نفس الوقت إلى تسريع الجزيئات الأخرى، وفي النهاية؛ سيستقر الهواء مجددًا في حالة توازن جديد، وهذه المرة؛ ستكون الطاقة الأكثر احتمالاً لأي جزيء أعلى قليلاً مما كانت عليه من قبل، وستكون درجة الحرارة الإجمالية في الصندوق قد ارتفعت قليلاً.

الطريقة التي تنتشر بها الطاقة في الصندوق بين الجزيئات تسمى بتوزيع ماكسويل بولتزمان - على اسم اثنين من أعظم العلماء في القرن التاسع عشر، الذين طوروا مجال الميكانيكا الإحصائية -.

يشير «التوزيع» إلى شكل المنحنى على الرسم البياني الذي يربط السرعات المتغيرة للجزيئات إلى عدد الجزيئات التي

اتخذت تلك السرعة، أو بعبارة أخرى: الخط الذي يربط النقاط المقابلة لاحتمال أن يكون لأي جزيء سرعة معينة.

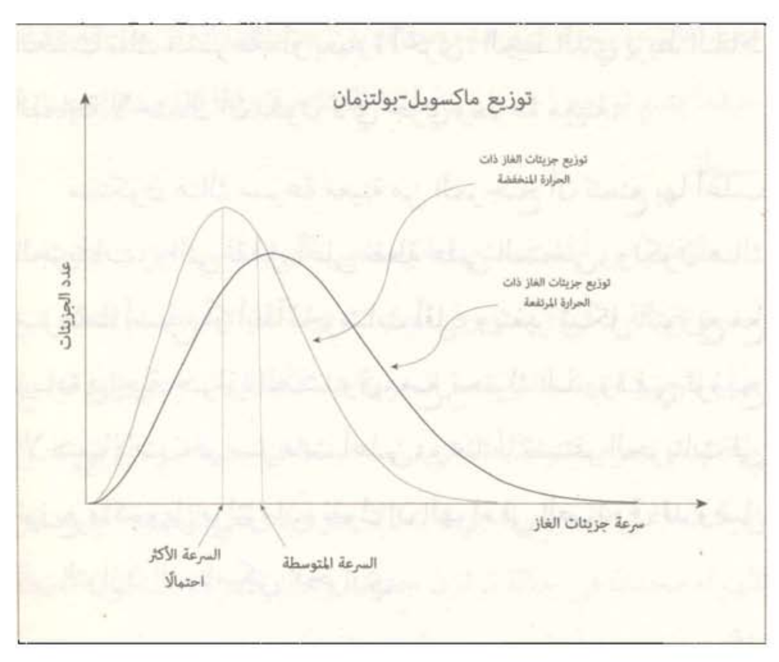
ستكون هناك سرعة معينة من المرجح أن تتمتع بها أغلب الجزيئات، والتي تقابل أعلى نقطة على المنحنى، وتكون هناك سرعات أسرع أو أبطأ لجزيئات أقل، ويتغير شكل التوزيع مع زيادة درجة حرارة الصندوق، مع تحرك الذروة في توزيع الاحتمالات نحو سرعات أعلى، وعندما تستقر الجزيئات في توزيع ماكسويل بولتزمان، نقول إن الهواء في الصندوق قد وصل إلى التوازن الديناميكي الحراري.

يرتبط الميل نحو حالة توازن إحصائية بمفهوم مهم جدًا في الفيزياء يُعرف باسم الإنتروبيا.

إن إنتروبيا النظام إذا تُركت بمفردها ستزداد دائمًا: أي أن النظام سوف يسترخي دائمًا من حالة «خاصة» - مرتبة - إلى حالة أقل خصوصية - مختلطة -.

تسترخي الأنظمة الفيزيائية وتبرد وتبلى.

يشار إلى هذا باسم القانون الثاني للديناميكا الحرارية، وهو في جوهره ليس أكثر من تأكيد بالحتمية الإحصائية: إذا تركت الأنظمة بمفردها، فكل شيء يعود دائمًا في النهاية إلى حالة التوازن.



الشكل ٢. توزيع ماكسويل-بولتزمان - جزيئات الغاز في صندوق سوف توزع نفسها بالتساوي وتتقاسم طاقتها حتى تصل إلى التوازن الحراري، يُعرف منحنى عدد الجزيئات مقابل سرعتها بتوزيع ماكسويل بولتزمان وله ذروة عند السرعة الأكثر احتمالًا، تنتقل هذه الذروة إلى سرعات أعلى مع زيادة درجة الحرارة الإجمالية للغاز، لاحظ أن السرعة الأكثر احتمالًا ليست هي نفس متوسط السرعة؛ نظرًا لوجود جزيئات أكثر بسرعات أكبر من قيمة الذروة.

تخيل أن كل جزيئات الهواء في صندوقنا تبدأ في التجمع في زاوية واحدة.

تكـون إنتروبيـا الصندوق فـي هذه الحالـة الأولية منخفضة؛ لأن محتوياتها في حالة خاصة وأكثر تنظيمًا.

إذا تُركـت بمفردها، فإن الحركة العشـوائية لهـذه الجزيئات ستجعلها تنتشر بسرعة لملء الصندوق بأكمله حتى يصل توزيعها إلى التوازن، مثلما تسـتقر سـرعات الجزيئات الساخنة في النهاية فـي حالـة تـوازن ديناميكي حـراري، ينتقـل الهـواء الموجود في الصنـدوق من حالة إنتروبيا منخفضة إلى حالة إنتروبيا عالية أثناء انتشـاره، وعندما يتـم توزيع جزيئات الهواء بالتسـاوي في جميع أنحاء الصندوق، فإن الإنتروبيا ستزداد وستصل للحد الأقصى.

هنـا مثال أبسـط: يُقال: إن حزمة من بطاقـات اللعب المرتبة التـي يتـم فيهـا فصـل كل مجموعـة وترتيبهـا بترتيـب تصاعـدي تحتوي على نسبة منخفضة من الإنتروبيا.

إنهـا فـي حالـة عاليـة الترتيـب، ولكنهـا سـتتلخبط إذا قمنـا بخلطهـا - نقـول: إن الإنتروبيا فيها تـزداد، وبالمزيد من الخلط، من المرجح وبشكل كبير أن البطاقات ستختلط أكثر مما هي عليه مـن العودة إلى ترتيبهـا الأصلي؛ هذا لأن الحزمـة غير المختلطة هـي ترتيـب فريد جـدًا للبطاقـات، في حيـن أن هنـاك العديد من الطرق لخلط البطاقات؛ لذلك فمن الأرجح أن الخلط سـيذهب

في اتجاه واحد - من المرتب إلى المخلوط، وبالتالي من إنتروبيا منخفضة إلى إنتروبيا عالية.

التعريف الأكثر إثارة للإنتروبيا هو: أنها مقياس لقدرة شيء ما على استعمال الطاقة من أجل تنفيذ مهمة ما.

عندما يصل النظام إلى التوازن، يصبح عديم الفائدة.

تحتوي البطارية المشحونة بالكامل على نسبة منخفضة من الإنتروبيا، والتي تزيد مع استخدام البطارية.

البطارية الفارغة في حالة توازن ولديها نسبة عالية من الإنتروبيا.

هذا هو المكان الذي يأتي فيه التمييز بين الطاقة المفيدة والطاقة المهدرة.

عندما يتم ترتيب النظام وفي حالة خاصة - إنتروبيا منخفضة -، يمكن استخدامه لتنفيذ عمل مفيد - مثل بطارية مشحونة أو ساعة قديمة معشية أو ضوء الشمس أو الروابط الكيميائية بين ذرات الكربون في كتلة من الفحم -، ولكن عندما يصل النظام إلى التوازن، تكون الإنتروبيا في أعلى مستوى للنظام، وتكون الطاقة التي يحتويها عديمة الفائدة؛ لذا، وبمعنى آخر: ليست الطاقة هي ما نحتاجه لجعل العالم يستمر في الحركة، نحن بحاجة لإنتروبيا منخفضة.

إذا كان كل شيء في حالة توازن، فلن يحدث شيء.

نحن بحاجة إلى نظام ليكون في حالة من انخفاض الإنتروبيا بعيدًا عن التوازن؛ لإجبار الطاقة على التغير من شكل إلى آخر، وبعبارة أخرى: للقيام بعمل/ شغل.

نحن نستهلك من الطاقة لمجرد وجودنا على قيد الحياة، ولكن يمكننا الآن أن نرى أنها يجب أن تكون من النوع المفيد منخفض الإنتروبيا.

الحياة مثال على نظام يمكنه أن يحافظ على نفسه في حالة منخفضة من الإنتروبيا بعيدًا عن التوازن الحراري.

الخلية الحية في جوهرها عبارة عن نظام معقد يتغذى - عبر آلاف العمليات الكيميائية الحيوية - على طاقة مفيدة منخفضة الإنتروبيا محبوسة في التركيب الجزيئي للطعام الذي نستهلكه.

إنها الطاقة الكيميائية المستخدمة للحفاظ على استمرار عمليات الحياة.

في النهاية؛ الحياة على الأرض ممكنة فقط لأنها «تتغذى» على طاقة الشمس المنخفضة الإنتروبيا.

ينطبق القانون الثاني للديناميكا الحرارية ومسيرة الإنتروبيا التي لا هوادة فيها على الكون بأسره أيضًا.

تخيل أن صندوقنا ذو الهواء هو الآن سحابة من الغاز البارد تتسع إلى حجم مجرة، إذا انجرفت مجموعة من الجزيئات في الغاز بشكل عشوائي واقتربت أكثر من المتوسط؛ فإن التجاذب الكتلي المتبادل والضعيف جدًا بينهما قد يكون كافيًا لتقريبهما معًا بحيث يشكلان كتلة غازية أكثر كثافة من المتوسط [1].

كلما زاد عدد جزيئات الغاز، تكتلت معًا، فتصبح الجاذبية أكثر فعالية في جذب المزيد من الجزيئات.

كانت عملية التكتل بسبب الجاذبية هي السبب وراء تشكل النجوم: انهارت سحب ضخمة من الغاز معًا حتى أصبحت هذه المناطق كثيفة بدرجة كافية لبدء الاندماج الحراري النووي - من الهيدروجين إلى الهيليوم -، واشتعلت النجوم.

قد يبدو هذا محيرًا عندما تفكر فيه لأول مرة؛ لأن عملية التكتل تبدو وكأنها تؤدي إلى حالة أكثر تنظيمًا، وأكثر خصوصية، وبالتالي يجب أن يكون للحالة النهائية إنتروبيا أقل مما كانت عليه عندما تكون جميع الجزيئات تنتشر بالتساوي.

---

(١) بالطبع، إذا كنا نتعامل مع عدد صغير من الجزيئات، فلن تلعب الجاذبية أبدًا دورًا في التحكم في سلوكها، فقط عندما تشارك أعداد كبيرة منها يمكن أن يكون لكتلتهم التراكمية تأثير الجاذبية.

إذن؛ هل تسببت الجاذبية في انخفاض إنتروبيا الغاز وانتهاك القانون الثاني للديناميكا الحرارية؟

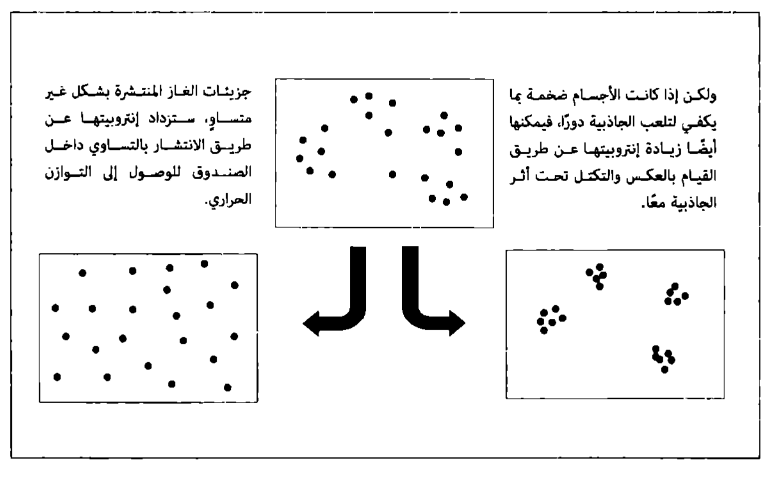
الجواب: لا.

عندما تتجمع وتتكتل المادة بسبب الجاذبية تزداد الإنتروبيا لنفس السبب الذي يزداد فيه إنتروبيا الكرة عندما تتدحرج إلى أسفل تلة بسبب سحب جاذبية الأرض.

فكر في هذا التكتل مثل زنبرك ممتد يتم إطلاقه، أو تفكيك الساعة الميكانيكية(*)، ستزداد الإنتروبيا؛ لأنها تفقد القدرة على القيام بعمل مفيد، وهكذا؛ عندما تجد جزيئات الغاز في جزء معين من السحابة نفسها، عن طريق الصدفة، أقرب لبعضها البعض بشكل مؤقت مما لو كانت منتشرة بالتساوي، فإن هذا يمثل خروجًا مؤقتًا عن الإنتروبيا القصوى.

من أجل زيادة الإنتروبيا مرة أخرى، ولإرضاء القانون الثاني؛ يمكن لهذه الجزيئات أن تفعل أحد أمرين، يمكنها إما الانجراف بعيدًا مرة أخرى، والعودة إلى حالتها الأصلية من التوازن الحراري، أو يمكنها الذهاب في الاتجاه الآخر والتكتل معًا بسبب جاذبيتها المتبادلة.

(*) يقصد الساعة الميكانيكية القديمة التي تعمل من خلال ضغط نابض ميكانيكي داخلها.



الشكل ٣: زيادة الإنتروبيا - يمكن للجسيمات الموجودة في صندوق وليست في حالة التوازن تمام (إنتروبيا منخفضة) أن تزيد من إنتروبيتها إما عن طريق إعادة توزيع نفسها مرة أخرى للوصول للتوازن أو التكتل معًا تحت تأثير الجاذبية، في كلتا الحالتين؛ فإنها تزيد من إنتروبيتها وتتوافق مع القانون الثاني للديناميكا الحرارية.

في كلتا الحالتين تزداد الإنتروبيا.

يجب أن تسأل الآن: ما الذي قد يتسبب في مثل هذا الانحراف بعيدًا عن الحد الأقصى من الإنتروبيا؟ ألن ينتهك هذا الانحراف نفسه القانون الثاني؟

الجواب هو: أن المادة والطاقة في كوننا لم تبدأ في حالة

توازن حراري، بل في حالة خاصة جدًا، وإنتروبيا منخفضة حددتها الظروف في الانفجار العظيم نفسه.

هذه الظروف الأولية نزولاً إلى المستوى الكمومي، بذرت شذوذ في الزمكان، والتي انتشرت بشكل كبير على نسيج الكون مع توسع الكون، بحيث تم بناء قدر معين من التكتل تلقائيًا في توزيع المادة في الكون.

مع استمرار الكون في «التفكك»، كانت المادة التي كانت قريبة بما يكفي من بعضها البعض تشعر بسحب الجاذبية فيما بينها، لتتجمع بالنهاية معًا لتشكل النجوم والمجرات.

سقطت جزيئات الهيدروجين والهيليوم في الفضاء معًا في آبار الجاذبية الخاصة بالنجوم، مما تسبب في زيادة الإنتروبيا بسبب هذا التجاذب، ولكن بشكل حاسم؛ لم تصل هذه الإنتروبيا إلى الحد الأقصى؛ فالنجوم ليست أنظمة في حالة توازن حراري، ولكنها تظل مستودعات من الإنتروبيا المنخفضة، حيث تطلق تفاعلات الاندماج الحراري النووي داخلها طاقة زائدة على شكل ضوء وحرارة.

هذه الطاقة ذات الإنتروبيا المنخفضة من نجمنا، الشمس، هي التي تجعل الحياة على الأرض ممكنة.

تستفيد منها النباتات أثناء عملية التمثيل الضوئي لتكوين الكتلة الحيوية، مما يحبس طاقة الإنتروبيا المنخفضة المفيدة في الروابط الجزيئية لمركباتها العضوية، والتي يمكن بعد ذلك الوصول إليها من قبل الكائنات الحية الأخرى، بما في ذلك البشر في نهاية المطاف، حيث نستهلك النباتات كغذاء.

الأرض نفسها تمتلك كذلك مخزونًا من الطاقة المفيدة والتي - جنبًا إلى جنب مع طاقة الشمس - تحرك مناخها، بينما تتحكم طاقة الجاذبية الخاصة بالقمر والشمس في حدوث المد والجزر في المحيطات - فإنها مجتمعةً يمكن أن تزودنا بخزانات مفيدة أخرى منخفضة الإنتروبيا، حيث يمكننا الاستفادة منها -.

على سبيل المثال: يسقط الماء الموجود في أعلى شلال تحت تأثير الجاذبية بحيث يتم تحويل طاقته الكامنة إلى طاقة حركية، والتي يمكننا الاستفادة منها في تشغيل محطات الطاقة الكهرومائية التي تولد الكهرباء.

بالطبع سيكون هناك دائمًا بعض الفقد في الكفاءة - حيث يساهم هذا في الزيادة الإجمالية في الإنتروبيا على شكل حرارة مهدرة مما يتوافق مع القانون الثاني للديناميكا الحرارية -.

ولكن هناك شيء يحدث هنا أعمق بكثير من مجرد تحويل الطاقة من شكل إلى آخر.

إذا كان على النظام الفيزيائي - بما في ذلك الكون بأكمله - أن ينتقل دائمًا من حالة مرتبة من الإنتروبيا المنخفضة إلى حالة غير مرتبة من الإنتروبيا العالية؛ فإن هذا يعطينا اتجاهًا لتدفق الزمن نفسه: القانون الثاني للديناميكا الحرارية يسمح لنا بالتمييز بين الماضي والمستقبل.

قد يبدو هذا غريبا بعض الشيء.

في نهاية المطاف؛ لست بحاجة إلى القانون الثاني ليخبرك أن الأمس كان في الماضي.

لديك ذاكرة لأحداث ذلك اليوم مخزنة في عقلك، رغم أن الأحداث نفسها قد ولت إلى الأبد، بينما الغد غير معروف لك - حيث لم يحدث ذلك بعد -.

ربما نشعر أن سهم الزمن هذا الذي يدلل عليه القانون الثاني للديناميكا الحرارية من الماضي إلى المستقبل هو خاصية أساسية يخبرنا بها حدسنا عن الواقع بشكل أكبر من القانون نفسه.

وفي الواقع؛ فإن العكس هو الصحيح: فكر في القانون الثاني للديناميكا الحرارية على أنه أصل سهم الزمن.

بدون القانون الثاني لن يكون هناك مستقبل أو ماضٍ.

تخيل مشاهدة فيلم لصندوق الهواء الخاص بنا - ودعنا نتخيل أن جزيئات الهواء كبيرة بما يكفي لكي نراها -؛ سوف تتأرجح الذرات حولنا، وتصطدم ببعضها البعض ومع جدران الصندوق، بعضها يتحرك بشكل أسرع والبعض الآخر بشكل أبطأ، ولكن إذا كان الهواء في حالة توازن حراري، فلن نتمكن من معرفة ما إذا كان الفيلم يتم عرضه للأمام أو للخلف.

في مقياس الاصطدامات الجزيئية الصغير؛ لا يمكننا رؤية أي اشاره لاتجاه الزمن.

بدون زيادة في الإنتروبيا ودافع إلى التوازن؛ يمكن أن تحدث جميع العمليات الفيزيائية في الكون بشكل متساوٍ في الاتجاه المعاكس.

ومع ذلك كما رأينا؛ فإن هذا الميل للكون وكل ما بداخله للاسترخاء نحو التوازن الحراري يرجع بالكامل إلى الاحتمال الإحصائي للأحداث على المستوى الجزيئي، حيث تسير الأمور مَن شيء أقل احتمالًا إلى حدوث شيء أكثر احتمالية؛ وفقًا لقوانين الديناميكا الحرارية.

وبالتالي؛ فإن اتجاهية الوقت الذي يشير من الماضي إلى

المستقبل ليس شيئاً مبهماً .. إنها مجرد مسألة حتمية إحصائية.

مع أخذ ذلك في الاعتبار، حتى حقيقة أنني أعرف الماضي ولكن ليس المستقبل لم تعد غريبة جدًا.

عندما أدرك العالم من حولي؛ أقوم بزيادة كمية المعلومات المخزنة في عقلي، وهي عملية تنتج حرارة ضائعة وتزيد من إنتروبيا جسدي أثناء قيام عقلي بعمله، حتى قدرتنا على التمييز بين الماضي والمستقبل من منظور الديناميكا الحرارية، ليست أكثر من خضوع عقولنا للقانون الثاني للديناميكا الحرارية.

الحتمية والعشوائية

الأفكار المذكورة أعلاه قد تجعلك تشعر بعدم الارتياح - وهذا له ما يبرره -، وبالتأكيد، فإن الاختلاف بين الماضي والمستقبل هو أكثر من مجرد محرك إحصائي لجزيئات متصادمة عشوائيًا لتحقق التوازن، أو الفرق بين حزمة أوراق لعب مرتبة وغير مرتبة.

بعد كل هذا؛ فإن الماضي لا يمكن تغييره - نحن نتذكر مساراً واحداً فقط للأحداث: تاريخ واحد -.

في المقابل؛ فإن المستقبل مفتوح لنا بإمكانياته اللانهائية.[١]

---

(١) بالطبع، بعض الأشياء أكثر احتمالاً من غيرها... أنا متأكد تمامًا =

معظم الأحداث التي ستحدث غدًا ستكون غير متوقعة، ويمكن أن يتجلى لي يومي بطرق مختلفة لا تعد ولا تحصى؛ اعتمادًا على تلاقي الملايين من العوامل المختلفة.

إذن؛ هل هناك في الواقع فرق بين الماضي والمستقبل، على مستوى أعمق من الإحصائيات البسيطة التي تستند إلى فكرة أن لدينا ماضٍ واحد ولكن العديد من المستقبلات المحتملة؟ بعبارة أخرى: هل مصيرنا محدد أم أن مستقبلنا محكوم بالصدفة؟ هل المستقبل ثابت أم لم يتم تحديده بعد؟ هذه أسئلة فلسفية قديمة، تتعلق بطبيعة الإرادة الحرة نفسها.

عندما يتحدث الفيزيائيون عن عملية ما على أنها «حتمية»، فإنهم عادةً ما يشيرون إلى مفهوم الحتمية «السببية»: فكرة أن الأحداث الماضية تسبب أحداثًا مستقبلية، ولكن إذا كان الأمر كذلك، فلا شيء يترك للصدفة، وكل ما يحدث يحدث لسبب ما، بسبب ما حدث قبله مباشرة: السبب والنتيجة.

من حيث المبدأ؛ يمكن تتبع حالة الكون بأسره في الوقت

= تقريبًا من أن الشمس ستشرق غدًا، وأنني سأكون أكبر سنًا بيوم واحد؛ وأنا متأكد من أنني لن أستيقظ ولدي القدرة المفاجئة على التحدث باللغة اليابانية بطلاقة أو الركض لمسافة ١٠٠ متر في أقل من عشر ثوان.

الحالي بالرجوع خطوة بخطوة وصولاً إلى الانفجار العظيم، وإذا كان هذا صحيحًا؛ فمن المؤكد أن الأحداث في الوقت الحاضر تحدد الأحداث في المستقبل.

من حيث المبدأ؛ يجب أن نكون قادرين على التنبؤ بهذا المستقبل.

ومصطلح «الأحداث» هنا يشمل أيضًا هامش الخلايا العصبية في أدمغتنا التي تحدد عمليات تفكيرنا ومن ثم اتخاذ قراراتنا.

في نهاية المطاف؛ فإن أدمغتنا مصنوعة أيضًا من الذرات.

لا يوجد عنصر سحري إضافي يعفيها من قوانين الفيزياء.

في عالم يتم فيه تحديد كل شيء مسبقًا، لن يكون لدينا خيار حر فيما يتعلق بأفعالنا وقراراتنا؛ نظرًا لوجود نسخة واحدة فقط من المستقبل، تمامًا كما كانت هناك نسخة واحدة من الماضي. (تذكر أنني ناقشت فكرة الكتلة الكونية لآينشتاين في الفصل الثالث) لكن ترتيب الأحداث، والماضي يسبب المستقبل وليس العكس، مدفوع بالقانون الثاني للديناميكا الحرارية، والذي بدونه فإن الأحداث التي أطلقنا عليها اسم «المستقبل» من المحتمل أن تكون هي السبب وراء أحداث الماضي.

لكن إذا كان الأمر كذلك؛ فلماذا لا نستطيع التنبؤ بالمستقبل بأي درجة من درجات الثقة؟

في نهاية المطاف؛ حتى أقوى حواسيبنا الفائقة لا يمكنها أن تخبرنا على وجه اليقين ما إذا كانت ستمطر الأسبوع المقبل أم لا.

في حالة الطقس، والسبب واضح. إذا كنت تفكر في التعقيد الهائل لما نحاول نمذجته وعدد المتغيرات التي سنحتاج إلى معرفتها بدقة شديدة من التغيرات في درجات الحرارة في الغلاف الجوي والمحيطات إلى ضغط الهواء واتجاه الرياح وسرعتها والنشاط الشمسي.. إلخ... من أجل إجراء تنبؤ دقيق؛ سترى أن المهمة تزداد صعوبة كلما تقدمنا قليلاً للمستقبل؛ لذلك بينما يمكن لخبراء الأرصاد الجوية التنبؤ بثقة بما إذا كان الجو سيكون مشمسًا أو ملبدًا بالغيوم غدًا، فإن التنبؤ بما إذا كانت ستمطر في هذا التاريخ من العام المقبل أمر مستحيل.

بشكل حاسم؛ هذا لا يعني أن مثل هذه المعرفة لا يمكن أن تكون معروفة من حيث المبدأ - لأنه في الكون الحتمي، يكون المستقبل مُقدرًا مسبقًا -، إننا فقط، في الممارسة العملية، سنحتاج إلى معرفة الظروف الحالية لمناخ الأرض بدقة مذهلة

ويكـون لدينا حاسـوب بقوة هائلة لتغذيته بجميـع البيانات لعمل محـاكاة دقيقـة يمكـن تطويرهـا بعـد ذلـك رياضيًـا لإعطـاء تنبؤ موثوق.

إن عـدم القـدرة علـى التنبـؤ الفوضـوي هـو الـذي أدى إلى ظهور «تأثير الفراشة» الشهير: فكرة أن الاضطراب الصغير الذي يبـدو غير منطقي للهـواء الناجم عن رفرفة جناحي الفراشـة على جانـب واحـد من العالـم، يمكن أن يتطـور وينمـو تدريجياً حتى يتطور بشكل كبير، فيؤثر على مسار الإعصار على الجانب الآخر من العالم.

هـذا لا يعنـي أن هنـاك فراشـة معينـة يمكننـا تتبعها لتسـبب الإعصـار، بـل يعنـي أن أي تغييـرات طفيفة في الظـروف الأولية يمكـن أن تـؤدي إلـى نتائـج متباينة علـى نطاق واسـع إذا واصلنا التأثير على النظام في الوقت المناسب.

تصف معادلات الفيزياء عالمًا متطورًا بشكل حتمي.

إن معرفـة الظروف الأولية الدقيقة للنظام - مكان وجود كل جسـيم مكـوِّن وكيف يتحـرك في لحظـة معينة من الزمـن، وفهم القوى بين جميع الجسيمات بشكل كامل -؛ سيسمح لنا بحساب كيفية تطور هذا النظام بطريقة حتمية تمامًا.

السبب والنتيجة.

يمكن - من حيث المبدأ - أن يتجلى المستقبل لنا.

إن المشكلة بالطبع هي أننا لا نستطيع أبدًا القيام بذلك عمليًا.

إن عدم القدرة على معرفة أو التحكم في الظروف الأولية للنظام، وكذلك جميع التأثيرات المستمرة الأخرى وبدقة غير محدودة، يمكن ملاحظته حتى في الأنظمة الأبسط بكثير من الطقس.

لا يمكن تكرار رمي العملة بالضبط من أجل تحقيق نفس النتيجة مرارًا وتكرارًا.

إذا رميت عملة معدنية وحصلت على أحد وجهي العملة، فمن الصعب جدًا بالنسبة لي أن أكرر القرعة وأجعلها تدور بنفس عدد المرات حتى تهبط فتعطي بالتأكيد ذات الوجه مرة أخرى.

في عالم حتمي مثل عالمنا يتم تحديد مصيرنا بالكامل، ومع ذلك لا يمكننا التنبؤ به بأي درجة من درجات الثقة.

لكن ماذا عن ميكانيكا الكم؟ أليس هذا هو المكان الذي تدخل فيه العشوائية واللاحتمية الحقيقية على مستوى أساسي؟

ألا تنقذنا ميكانيكا الكم من الحتمية الكئيبة لمستقبل ثابت ومحدَّد سلفًا، نشعر فيه أننا لم نعد نتخذ خيارات حرة بل مجرد تروس في كون منظم كالساعة؟

الحقيقة هي: أنه ليس لدينا إجابة واضحة على هذا السؤال حتى الآن.

يجب أن نحرص أيضًا على التمييز بين عدم القدرة على التنبؤ واللاحتمية.

من الصحيح تمامًا أن الطبيعة الاحتمالية للعالم الكمي تعني أن الأحداث لا يمكن التنبؤ بها: لا يمكننا أن نعرف مسبقًا مكان وجود الإلكترون بالضبط، أو في أي اتجاه يدور، أو بالتحديد متى تتحلل الذرة المشعة.

كل ما يمكننا فعله بميكانيكا الكم هو تعيين احتمالات لنتائج القياسات المختلفة.

ومع ذلك؛ وفي حين أن عدم القدرة على التنبؤ قد يرجع إلى اللاحتمية الحقيقية، فإن رياضيات نظرية الكم لا تفرض ذلك.

اللاحتمية هي تفسير نفرضه على الرياضيات لوصف ما نقيسه.

على سبيل المثال: يفضل معظم علماء الكونيات تفسير العوالم العديدة لميكانيكا الكم حيث يكون كل شيء حتميًا تمامًا.

هناك طريقة أخرى تتسلل فيها عدم القدرة على التنبؤ وظهور العشوائية إلى الفيزياء؛ وذلك من خلال ظاهرة السلوك الفوضوي.

تظهر الفوضى في الطبيعة عندما يكون هناك عدم استقرار داخل النظام، مثل التغييرات الصغيرة في الطريقة التي يتطور بها النظام بمرور الوقت والتي يمكن أن تنمو بسرعة.

هنا تأثير الفراشة مرة أخرى.

في بعض الأحيان؛ حتى الأنظمة البسيطة التي تتبع قوانين فيزيائية حتمية بسيطة يمكن أن تتصرف بطرق معقدة وغير متوقعة للغاية، وتبدو عشوائية حقًا، ولكن على عكس الحقل الكمي؛ حيث لا نعرف ما إذا كان عدم القدرة على التنبؤ ناتجًا عن اللاحتمية الحقيقية أم لا(١)، فإن عدم القدرة على التنبؤ بالنظام الفوضوي ليس - على الرغم من المظاهر الأولية - بسبب العشوائية الحقيقية.

---

(١) لأنه يعتمد على تفسير ميكانيكا الكم الذي نختاره.

هناك أيضًا جانب رائع لنظرية الفوضى: يمكن أن تؤدي القواعد البسيطة المطبقة بشكل متكرر، إلى سلوك عشوائي ظاهريًا، ولكن في بعض الأحيان تستمر في إنتاج هياكل جميلة وأنماط معقدة من السلوك تبدو منظمة للغاية.

يظهر تعقيد غير متوقع حيث لم يكن هناك أي تعقيد من قبل، وحيث لا ينتهك القانون الثاني للديناميكا الحرارية.

يُعرف مجال العلوم الذي يتعامل مع هذا النوع من السلوك الناشئ باسم الأنظمة المعقدة، وقد بدأ يلعب دورًا رئيسيًا في العديد من مجالات البحث المثيرة، مثل: علم الأحياء والاقتصاد والذكاء الاصطناعي.

باختصار .. إذن؛ قد يكون كوننا حتميًا تمامًا، وعدم القدرة على التنبؤ بتطوره في المستقبل يرجع بالكامل إلى أوجه القصور في قدرتنا على معرفة ما سيحدث في اللحظات القادمة على وجه اليقين؛ قد يكون هذا إما لأنه على المستوى الكمي لا يمكننا مراقبة حالة النظام دون التأثير عليه وتغيير النتيجة، أو لأننا في الممارسة العملية لا يمكن أن يكون لدينا معرفة كاملة بالنظام، وتراكم عدم اليقين يعني أننا لا نستطيع أبدًا التأكد مما يخبئه المستقبل.

ما هو الزمن إذن؟

بعد إلقائنا نظرة سريعة على الحتمية والعشوائية في الفيزياء، دعونا نعود مرة أخرى إلى الموضوع المركزي لهذا الفصل، وهو اتجاه الزمن الذي ينشأ من الديناميكا الحرارية.

لاحظ أننا نواجه الآن ثلاث وجهات نظر مختلفة حول ماهية الوقت، كل منها ينشأ من أحد أعمدة الفيزياء الثلاثة.

أولاً: ووفقًا للنسبية الخاصة؛ فإن الزمن ليس مطلقًا؛ إنه لا يندرج بشكل مستقل عن الأحداث التي تحدث في الفضاء ثلاثي الأبعاد، ولكن بدلاً من ذلك فالزمن تم دمجه مع الفضاء في الزمكان رباعي الأبعاد.

هذه ليست مجرد حيله رياضية، بل هذه خاصية مفروضة علينا بخصائص العالم الحقيقي، وتم اختبارها مرارًا وتكرارًا في التجارب وتبين أنها كذلك في هذا الكون، ثم تخبرنا نظرية الجاذبية لآينشتاين (النسبية العامة) أن الزمكان هو حقل الجاذبية نفسه - كلما كان الحقل أقوى، كان الزمكان أكثر انحناءًا -؛ لذا؛ فإن الدرس المستفاد من النسبية هو: الزمن جزء من النسيج المادي للكون، وهو بُعد يمكن أن يتمدد ويتشوه بفعل الجاذبية.

هذا يختلف تمامًا عن الدور المتواضع نسبياً الذي يلعبه

الزمـن فـي ميكانيكا الكـم؛ حيث إنـه ليس أكثر مـن معامل: رقم تقوم بإدخاله في معادلة.

فإذا استطعنا معرفة حالة النظام في وقت ما (ت١)؛ سنتمكن من حساب حالة النظام في أي وقت آخر (ت٢)، وما إلى ذلك.

وهذه الحسـابات ممكنة أيضًا فـي الاتجاه المعاكس: معرفة حالـة النظـام في وقت لاحق (ت٢) تسـمح لنا بحسـاب ومعرفة حالة النظام في وقت مبكر (ت١).

إن سهم الزمن في ميكانيكا الكم قابل للانعكاس.

أما في الديناميكا الحرارية؛ فإن للزمن معنى آخر.

الزمـن هنـا ليس معامـلاً فـي معادلـة ولا بعـدًا مـن الأبعـاد الأربعة، ولكنه سهم لا رجوع فيه يشير من الماضي إلى المستقبل، في اتجاه زيادة الإنتروبيا.

يعتقـد العديـد مـن الفيزيائيين أننا سـنجمع يومًا مـا كل هذه المفاهيم الثلاثة المختلفة للزمن.

على سـبيل المثال: لم نسـمع بعد الكلمة الأخيرة لميكانيكا الكـم؛ نظـرًا لأننـا ما زلنـا لا نفهم تمامًـا كيف ترتبط المعادلات القطعيـة التـي تصـف ديناميكيـات الحالـة الكموميـة – وكذلـك

الطريقـة التي يتدفق بها الزمن فـي الاتجاهين - بالارتباط بعملية القياس أحادية الاتجاه التي لا رجعة فيها.

هنـاك تلميحات قوية من التطور السـريع لنظرية المعلومات الكمومية.

إن الطريقـة التي يتفاعـل بها النظام الكمي ويصبح متشـابكًا مع البيئة المحيطة به، تشبه الطريقة التي يفقد بها الجسم الساخن الحرارة عن طريق تسـريب الحرارة لمحيطـه الأكثر برودة، وهذا فيه تلاقي لمجالي ميكانيكا الكم والديناميكا الحرارية.

أظهـرت تجربـة رائعة فـي جامعة كوينزلاند في أسـتراليا في عـام ٢٠١٨ مـدى الحيـرة في كل هـذا من خلال إثبـات أنه على المستوى الكمي، تحدث الأحداث بدون ترتيب سببي محدد.

في الأسـاس، في الفيزياء، تعني السببية أنه إذا وقع حدث A قبـل حـدث B - في إطار مرجعي معين -، فقد يكون أو لا يكون قـد أثـر أو تسـبب في B، ولكـن الحـدث الأخيـر B لا يمكن أن يكـون قـد أثر أو تسـبب في الحـدث A: على المسـتوى الكمي، تبين أن هذه السببية المعقولة تنهار.

قاد هذا بعض الفيزيائيين إلى المجادلة بأن سـهم الزمن حقًا لا يوجد على المستوى الكمي، ولكنه مجرد خاصية ناشئة عندما نقوم بالنظر إلى النطاقات الكبيرة.

ومع ذلك؛ فقد انشغل الفيزيائيون بالسعي إلى توحيد الأعمدة، العمود الأول والثاني من أعمدة الفيزياء، منذ قرن تقريباً، ولايزالون.

تم تكريس وظائف كاملة لمحاولة فهم كيفية الجمع بين ميكانيكا الكم والنسبية العامة في نظرية واحدة شاملة للجاذبية الكمية.

هذا الاتحاد لأهم فكرتين في فيزياء القرن العشرين هو موضوع الفصل التالي.

الفصل السابع

التوحيد

إن دافع الفيزيائيين الدؤوب لتوحيد نظرياتهم - لتجميع قوانين الكون معًا وتغليفها في معادلة رياضية واحدة أنيقة - «نظرية كل شيء» - غالبًا ما يظهر على أنه ليس أكثر من هوس بالبساطة والاكتناز، محاولة لجمع جميع الظواهر الطبيعية المعقدة باستخدام أقل عدد من المبادئ الأساسية.

في الواقع؛ إن المسألة أعمق من ذلك.

على مدار تاريخ الفيزياء؛ كلما اكتشفنا المزيد عن طريقة عمل الطبيعة، زاد عدد الروابط التي وجدناها بين القوى والجسيمات التي تبدو غير مترابطة؛ وبالتالي يُختزل احتياجنا إلى عدد أقل من القواعد والمبادئ لشرح نطاق أوسع من الظواهر.

التوحيد ليس شيئًا عمدنا إلى تحقيقه؛ لقد ظهر نتيجة فهمنا الأعمق للعالم المادي، لكن هذا النجاح يأتي بلا شك مع جاذبية جمالية معينة تدفعنا إلى الاستمرار على نفس المنوال .. وقد نجحنا في ذلك بشكل مذهل.

من الناحية الحسـابية؛ غالبًا ما اشتمل السعي لتوحيد قوانين الفيزيـاء على البحث عن تناظرات مجردة، وأنماط تخفي حقائق عميقة عن الطبيعة.

لقـد رأينـا فـي الفصـل الثانـي كيف أثبـت التناظـر المركزي وجـوده فـي الفيزيـاء، والطريقة التـي يقودنا بها إلـى قوانين مثل: الحفـاظ على الطاقـة والزخم، لكنني أخشـى أن أثمن حقًا أهمية التناظر والدور الذي لعبته التناظرات المختلفة في الفيزياء النظرية علـى مـدار القرن الماضي، فهي بحق أكبـر من نطاق هذا الكتاب القصير إلى حد ما.

يُوصـف البحث عـن نظرية موحـدة أحيانًا على أنـه محاولة لتجميـع كل قـوى الطبيعـة في إطـار واحد، مما يشـير إلى وجود «قـوة خارقة» واحدة فقط، وأن التفاعـلات المختلفة التي نعرفها في الطبيعة - الكهرومغناطيسـية والجاذبية والقوى النووية القوية والقـوى النووية الضعيفة ذات المدى القصير داخل حدود النوى الذرية - كلها جوانب مختلفة لهذه القوة المفردة.

حقق الفيزيائيون حتى الآن قدرًا كبيرًا من النجاح في مشروع التوحيد الواسع هذا.

لقد وصفت بالفعل كيف فهم نيوتن أن سبب سقوط التفاحة

من الشـجرة هو نفس القوة الكونية - الجاذبية - التي تتحكم في حركة الأجرام السماوية عبر السماء.

لـم يكن هـذا واضحًا علـى الإطلاق في ذلـك الوقت، على الرغم من أنه قد يبدو كذلك بالنسبة لنا اليوم.

كان يعتقد قبل نيوتن أن الأجسـام تسـقط على الأرض؛ لأن كل شـيء لديه «ميل» للانتقال إلى مكانه «الطبيعي» - نحو مركز العالـم - وأن حركة الشـمس والقمر والكواكـب والنجوم كانت تخضع لمبادئ مختلفة للغاية.

يجمـع قانـون الجذب العام لنيوتن هـذه الظواهر معًا بالقول إن كل الكتـل تنجـذب نحـو بعضهـا البعـض، بقـوة تتناسـب مع حاصل ضرب كتلتها وتتناسب عكسًا مع مربع المسافة بينها.

لا يهم ما إذا كانت تفاحة أو قمر.

نفس الصيغة تحكم الطريقة التي تجذب بها الأرض كليهما.

حدثـت قفـزة كبيـرة أخـرى إلـى الأمام علـى طـول الطريق المؤدي إلى توحيد القوى بعد قرنين تقريبًا من قرن نيوتن، عندما أظهر جيمس كلارك ماكسويل أن الكهرباء والمغناطيسية هما في الواقع وجهان مختلفان لنفس القوة الكهرومغناطيسية.

لذلك؛ فإن التجاذب الكهروستاتيكي بين قصاصة من الورق والبالون الذي تم فركه على ملابسك له نفس أصل القوة الكهرومغناطيسية التي تجذب مشبك الورق نحو المغناطيس.

تعود جميع الظواهر التي نراها في الطبيعة في النهاية إلى إحدى هاتين القوتين: الجاذبية أو الكهرومغناطيسية؛ لذلك كان من الطبيعي التساؤل عما إذا كان بإمكاننا المضي قدمًا وجمعهم معًا في نظرية مشتركة.

لقد رأينا بالفعل على المستوى الأساسي: أن حقل الجاذبية ليس أكثر من الشكل الهندسي للزمكان نفسه، وهو اكتشاف كان أيضًا بسبب فكرة التوحيد.

من خلال الجمع بين المكان والزمان، كشف آينشتاين عن حقيقة عميقة: أنه في الزمكان رباعي الأبعاد فقط يمكن لجميع المراقبين - بغض النظر عن سرعة تحركهم بالنسبة لبعضهم البعض - الاتفاق على الفصل بين توقيت حدثين.

بعد عقد من الزمان؛ أعطت نظريته العامة للنسبية العالم صَورة جديدة وأكثر دقة لكيفية تسبب الكتلة والطاقة في انحناء هذا الزمكان، لكن هذا لم يكن كافيًا بالنسبة لآينشتاين، والذي قضى معظم العقود الأربعة التالية من حياته في البحث دون

جدوى عن نظرية موحدة تجمع بين نظريته في الجاذبية ونظرية ماكسويل الكهرومغناطيسية.

نحن نعلم الآن أن هناك - بالإضافة إلى الجاذبية والكهرومغناطيسية - قوتين أخريين: القوى النووية القوية والضعيفة، اللتين تعملان فقط على مسافات قصيرة جدًا، ولكنهما لا يقلان أهمية عن القوانين الأساسية للطبيعة؛ فأصبح توحيد القوة الكهرومغناطيسية مع إحدى هذه القوى النووية هو الخطوة التالية في فيزياء القرن العشرين.

لكن هذا التقدم المهم في فهمنا لطبيعة القوى الأساسية جاء فقط مع تطور ميكانيكا الكم من نظرية تصف العالم المصغر من حيث الجسيمات والموجات إلى عالم يتضمن حقولاً.

لقد تطرقت بإيجاز شديد إلى معنى الحقول في الفصل الثالث في سياق الجاذبية والكهرومغناطيسية.

نحن الآن جاهزون لمعالجة معنى الحقل الكمي.

نظرية الحقل الكمي

ربما أعطيتك انطباعًا أنه تم الانتهاء من ميكانيكا الكم منذ ما يقارب المائة عام.

انشغل معظم الفيزيائيين بتطبيقها على مشاكل حقيقية في الفيزياء والكيمياء، تاركين عددًا قليلاً فقط من أصحاب العقول الفلسفية للاستمرار في الجدل حول ماهيتها وماذا يعني كل هذا.

هذه النسخة من التاريخ صحيحة إلى حد كبير، ولكن من الصحيح أيضًا أن ميكانيكا الكم استمرت في التطور بطريقة أنيقة طوال النصف الأول من القرن الماضي.

كانت النماذج الرياضية الأساسية - المعادلات والقواعد - في مكانها بالتأكيد في أواخر عشرينيات القرن الماضي، ولكن سرعان ما تمكن بول ديراك من الجمع بين نظرية الكم ونظرية النسبية الخاصة لآينشتاين.

لقد جمع أيضًا ميكانيكا الكم ونظرية الحقل الكهرومغناطيسي لماكسويل لإنتاج أول نظرية حقل كمومي.

تطور هذا العمل إلى طريقة قوية ودقيقة للغاية لوصف التفاعل الكهرومغناطيسي للمادة مع الضوء على المستوى الكمي.

تصف نظرية الحقل الكمومي لديراك كيفية انبعاث الفَوتونات من الإلكترونات وامتصاصها، وكيف يتنافر إلكترونان، ليس عن طريق بعض القوة غير المرئية التي تربطهما عبر الفضاء، ولكن عن طريق تبادل الفوتونات.

بحلول الثلاثينيات من القرن الماضي؛ كان التمييز على المستوى الكمي بين فيزياء الجسيمات وفيزياء الحقول قد زال؛ لذا؛ وبالطريقة نفسها التي تتمظهر بها الفوتونات كجسيمات للحقل الكهرومغناطيسي - كتل من الطاقة النقية على نطاق كمي - كذلك فإن جسيمات المادة الموضعية، مثل: الإلكترونات والكواركات، مجرد مظاهر للحقول الكمومية المرتبطة بها.

ومع ذلك؛ على عكس الفوتونات والحقل الكهرومغناطيسي، فإن هذا ليس واضحًا جدًا عندما يتعلق الأمر بجسيمات المادة.

والسبب في ذلك هو: أن الفوتونات يمكن أن تتجمع معًا بأعداد غير محدودة، مما يؤدي إلى ظهور ما نعتبره حقلا كهرومغناطيسيًا على النطاق الكلي، في حين أن جسيمات المادة مثل: الإلكترونات والكواركات تكون غير اجتماعية؛ وذلك بفضل إحدى قواعد ميكانيكا الكم التي تسمى مبدأ استبعاد باولي، الذي ينص على أنه لا يمكن لجسيمين متطابقين من المادة أن يشغلا نفس الحالة الكمومية، وهذا يعني أننا لا ندرك حقولها الكمومية بهذه السهولة.

بحلول أواخر الأربعينيات من القرن الماضي؛ تم أخيرًا حل المشكلات الرياضية المتعلقة بوصف الحقول الكمية، واكتملت النظرية المعروفة باسم الكهرديناميكا الكمية (QED).

حتى يومنا هذا؛ تعتبر هذه النظرية الأكثر دقة في العلوم كلها.

إنها النظرية الفيزيائية التي تشرح على المستوى الأساسي كل شيء تقريبًا من حولنا في العالم؛ لأنها تدعم كل فروع علم الكيمياء وعلم المواد - من الطريقة التي تعمل بها الدوائر الإلكترونية والرقائق الدقيقة في جهاز الحاسوب المحمول الخاص بي، إلى حلقة الخلايا العصبية في دماغي، حيث يأمر دماغي أصابعي بالتحرك عبر لوحة المفاتيح -؛ لأن الكهرديناميكا الكمية في قلب جميع التفاعلات بين الذرات.

ومع ذلك على الرغم من قوتها؛ لا تزال الكهرديناميكا الكمية تصف واحدة فقط من قوى الطبيعة الأربع: الكهرومغناطيسية.

خلال أواخر الخمسينيات والستينيات من القرن الماضي؛ استخدم الفيزيائيون التفكير الرياضي الجميل - ولكن معقد - لدمج الكهرديناميكا الكمية مع نظرية الحقل للقوة النووية الضعيفة.

لقد أظهروا أن القوة الضعيفة على المستوى الأساسي؛ تولدت أيضًا عن طريق تبادل الجسيمات المكافئة للدور الذي تلعبه الفوتونات المتبادلة في وصف القوة الكهرومغناطيسية.

لدينـا اليـوم نظريـة موحـدة تصـف تفاعـلًا واحـدًا للقـوة الكهروضعيفـة(*)، من خلال عملية تسـمى كسـر التناظر، تنقسـم إلـى قوتين فيزيائيتين متميزتين: الكهرومغناطيسـية - التي تتجلى فـي تبـادل الفوتونـات - والقـوة الضعيفـة، التـي يحملهـا تبـادل البوزونات W و Z، التي تم اكتشافها لاحقًا في المنظمة الأوروبية للأبحـاث النوويـة «سـيرن» في عـام ١٩٨٣م، ومنـذ ذلك الحين تمت دراستها على نطاق واسع.

يرجع الانقسـام بين القوتين - كسـر التناظر - إلى حقل آخر يسـمى حقـل هيجـز، والذي يعطـي جسـيمات W و Z كتلة بينما يترك الفوتون بلا كتلة.

يعنـي هـذا التوحيد أنه على المسـتوى الأساسـي يتـم تقليل قوى الطبيعة الأربعة إلى ثلاث فقط: القوة الكهروضعيفة، والقوة النوويـة القويـة، والجاذبيـة - التـي ليسـت فـي الواقـع قـوة على الإطلاق؛ وفقًا للنسبية العامة -.

قـد تختلـف معـي حول ما إذا كان هذا قد سـاعد في تبسـيط الأمور.

(*) القـوة الكهروضعيفـة: هـي قـوة تنتـج مـن التوحيـد النظـري لقوتيـن أساسيتين، بين القوى الكهرومغناطيسية والقوى النووية الضعيفة، كما هـو الحـال عندما وحد ماكسـويل الكهربائية مع المغناطيسـية فنتج لنا النموذج الكهرومغناطيسي الموحد. (المترجم)

بالتوازي مع هذا التقدم؛ طُورت نظرية أخرى للحقل الكمي لوصف القوة النووية القوية التي تربط الكواركات معًا داخل البروتونات والنيوترونات.

تكمن دقة القوة النووية القوية في أن الطريقة التي تعمل بها بين الكواركات تتضمن خاصية تسمى «شحنة اللون»، والتي تستحق الذكر بإيجاز، مثلما تأتي الجسيمات التي تشعر بالقوة الكهرومغناطيسية في نوعين من الشحنة الكهربائية، والتي نشير إليها ببساطة بشحنة موجبة أو سالبة[1]، تأتي كذلك الجسيمات التي تشعر بالقوة القوية (الكواركات) في ثلاثة أنواع من «الشحنة»، تسمى شحنة اللون، تميزها عن الشحنات الكهربائية.

لاحظ أن كلمة «لون» هنا لا يجب أن تؤخذ بأي شكل من الأشكال بالمعنى الحرفي.

كان السبب وراء الحاجة إلى ثلاثة أنواع من الشحنات اللونية، بدلاً من نوعين فقط - كما هو الحال مع الشحنة الكهربائية -، هو الحاجة لتفسير سبب احتواء البروتونات والنيوترونات على ثلاثة كواركات؛ وكان سبب اختيار الألون هو

---

(١) والتي يمكن تسميتها «يسار» و «يمين»، «أسود» و «أبيض»، أو «ين» و «يانغ»، للإشارة إلى أنهما معاكستان لبعضهما البعض.

طريقة الأمتزاج التي تتحد بها الألوان الثلاثة المختلفة للضوء - الأحمر والأزرق والأخضر -؛ لإنتاج الضوء الأبيض.

وهكذا؛ فإن الكواركات الثلاثة في البروتون أو النيوترون يحمل كل منها شحنة لونية مختلفة: الأحمر أو الأزرق أو الأخضر، والتي تتحد لإنتاج جسيم يجب أن يكون «عديم اللون».

كانت القاعدة أن الكواركات لا يمكن أن توجد من تلقاء نفسها لأنها تحمل اللون.

لا يمكن أن توجد في الطبيعة إلا من خلال الالتصاق معًا لتكوين تركيبات عديمة اللون[1]؛ لهذا السبب أصبحت نظرية الحقل للقوة النووية القوية التي تربط الكواركات معًا تعرف باسم الديناميكا اللونية الكمومية، أو QCD.

---

(١) النوع الآخر من الجسيمات المكونة من الكواركات، يسمى الميزونات، يحتوي على كوارك ومضاد الكوارك، وكلاهما يجب أن يكون لهما نفس شحنة اللون لأن الجسيمات المضادة تحمل دائمًا الخصائص المعاكسة؛ لذلك، يمكن أن يكون لديك ميزون مكون من كوارك أحمر - له بعض الخصائص، مثل: أعلى أو أسفل أو غريب - مع كوارك مضاد للأحمر له خصائص أخرى. تحدد خصائص الكوارك والكوارك المضاد نوع الميزون، بينما يلغى لونها مع ألوانها المضادة لضمان جسيم عديم اللون. يبدو ذلك معقداً؟ أتراهن!

الجسيمات التبادلية بين الكواركات هي الغلوونات، وهو اسم ملائم ومثير للذاكرة، أعتقد أنك ستتفق معي، أكثر من تلك الجسيمات الحاملة للقوة الضعيفة، البوزون W و Z.

فلنقم الآن بتقييم: من بين قوى الطبيعة الأربعة المعروفة، تم وصف ثلاثة منها بواسطة نظريات الحقل الكمومي، ترتبط القوة الكهرومغناطيسية والقوة النووية الضعيفة معًا بنظرية تسمى بالكهروضعيفة، بينما يتم وصف القوة النووية القوية بواسطة الديناميكا اللونية الكمومية، ثم يلي ذلك النظرية التي يعمل على تطويرها العلماء، وتربط هذه القوى الثلاث معًا بالنظرية الموحدة الكبرى، ولكن حتى نصل إليها، يجب أن نتعامل مع تحالف فضفاض بين النظرية الكهروضعيفة والديناميكا اللونية الكمومية؛ حيث يُنتج هذا التحالف ما يسمى بالنموذج المعياري لفيزياء الجسيمات.

حتى أكثر المدافعين حماسةً عن النموذج المعياري سوف يعترفون بأنه ربما ليس الكلمة الأخيرة في هذا الشأن.

لقد صمد هذه المدة الطويلة جزئيًا؛ لأنه ليس لدينا ما هو أفضَل لاستبداله، وجزئيًا لأنّ تنبؤاته قد تم التحقق منها حتى الآن من خلال التجارب، مثل اكتشاف بوزون هيغز في عام ٢٠١٢ - وسنذكر المزيد من هذه الاكتشافات لاحقاً -.

ومع ذلك على الرغم من أن هذا هو أفضل وصف لدينا لثلاث من قوى الطبيعة الأربع؛ فإنه لا شيء أحب إلى قلوب علماء الفيزياء من القيام ببعض الاكتشافات الجديدة التي تتعارض مع النموذج المعياري، على أمل اكتشاف وصف أعمق وأكثر دقة للواقع، ولكن طالما استمرت التجارب في تأكيد تنبؤات النموذج المعياري، فإنه يعيش كي يحارب ليوم آخر.

بالطبع؛ هذه المناقشة الكاملة لنظريات الحقل الكمومي تغفل عنصرًا مهمًا للغاية: الجاذبية.

البحث عن الجاذبية الكمية

لقد اكتشفنا أن وصف عالمنا اليومي بالأبعاد والوقت ومقاييس الطاقة وملائمته للفيزياء النيوتنية ما هو إلا تقريب، وأنه في العمق نظريات فيزيائية أكثر جوهرية تأتي بمقاييسها القصوى.

في أحد الطرفين لدينا نظرية الحقل الكمومي، والتي قادتنا إلى النموذج المعياري لفيزياء الجسيمات والذي يمثل ثلاثًا من القوى الأربع المعروفة في الكون، وفي الطرف الآخر، لدينا النظرية العامة للنسبية، والتي تعطينا النموذج المعياري لعلم الكونيات الذي يشمل القوة الأخرى: الجاذبية.

يُطلق على هذا النموذج المعياري الكبير جدًا مجموعة متنوعة من الأسماء المختلفة، مثل: نموذج التوافق، أو نموذج المادة المظلمة والباردة، أو نموذج علم كونيات الانفجار العظيم

.

والذي سأناقشه بشكل أكثر استفاضة في الفصل التالي.

لذلك؛ فإن السؤال الذي يطرحه الفيزيائيون غالبًا هو: لماذا نشعر أنه مهم جدًا، وما إذا كان ممكنًا؟ ألا وهو السعي خلف هوسنا بالتوحيد لمحاولة الجمع بين هذين النموذجين اللذين يصفان مقاييس مختلفة تمامًا: عالم الكم والعالم الكوني؟

بالتأكيد كل نظرية منهما تعمل بشكل جيد في مجالها الخاص، وهذا يجب أن يكون كافيا بالنسبة لنا، لكن مرة أخرى، يجب أن أؤكد أن الغرض من الفيزياء ليس مجرد تفسير ما نلاحظه أو إيجاد بعض التطبيقات المفيدة بناءً عليه؛ لا، فالفيزياء تدور حول اكتساب أعمق وأشمل لفهم الواقع.

لذا؛ هذا هو المكان الذي نحن فيه في الوقت الحالي: عالِقون في إطارين ناجحين - نظرية الحقل الكمومي والنسبية العامة -، واللتان لا يبدو أنهما تريدان التوافق معًا.

في الواقع؛ يبدو أن لديهما القليل جدًا من القواسم المشتركة:

هياكلهما الرياضية غير متوافقة، ولا يمكن أن تكون هذه القصة كاملة.

نحن نعلم أن الزمكان يتفاعل مع المادة الموجودة فيه.

نحن نعلم أيضًا أن المادة على المستوى دون الذري تتصرف وفقًا لقواعد ميكانيكا الكم، والتي يجب أن تؤثر بدورها بالتأكيد على سلوك الزمكان.

إذا كان الإلكترون غير المرصود في حالة تراكب كمي لوجوده في حالتين أو أكثر في وقت واحد، كما نعلم أن الإلكترونات ممكن أن تكون كذلك - على سبيل المثال: إذا كانت حالتها الكمومية منتشرة على مساحة معينة من الفضاء أو في تراكب طاقات مختلفة في وقت واحد - من المؤكد أن الزمكان حول هذا الإلكترون يجب أن يعكس هذا الغموض أيضًا.

تكمن المشكلة في أن النسبية العامة ليست «كمومية»، وهي أبعد ما تكون عن الوضوح في كيفية جعلها كذلك.

إحدى المشكلات في هذا الأمر هي أن الجسيمات دون الذرية لها كتل صغيرة جدًا بحيث يصعب قياس تأثيرها على الزمكان.

ومـع ذلك؛ تظل القضية قائمة: كيـف نكمم حقل الجاذبية؟ مـا الـذي يتعين علينا القيـام به للجمـع بين نظريـة الحقل الكمي والنسـبية العامـة معًا؟ وإذا كانت حقًا غيـر متوافقة كما تبدو، إذن أي مـن هاتين النظريتين - الناجحتين بشـكل لا يصدق - تحتاج لإفساح الطريق لها لتقودنا إلى الجاذبية الكمية؟

نظرية الأوتار

فـي منتصـف الثمانينيـات؛ طُـورت نظرية مرشـحة للجاذبية الكمية.

لقد اسـتندت إلى فكرة رياضية تسـمى التناظر الفائق، والتي أشرت إليها باختصار في الفصل الثاني.

أصبحـت هذه النظرية المرشـحة تُعرف باسـم نظرية الأوتار الفائقـة، وقـد اسـتحوذت على خيـال العديـد من علمـاء الفيزياء الرياضية من أبناء جيلي.

يقترح التناظر الفائق وجود علاقة بين نوعين من الجسيمات الأوليـة في النموذج المعياري: جسـيمات المادة، أو الفرميونات - الكـواركات والإلكترونـات وأبنـاء عمومتهـا -، والجسـيمات الحاملـة للقـوة، أو البوزونـات - الفوتـون، والجلوونـات، وبوزونات W و Z -.

تم اقتراح نظرية الأوتار في الأصل في أواخر الستينيات كنظرية للقوة النووية القوية، ولكن عندما تم تطوير الديناميكا اللونية الكمومية في السبعينيات ووجدت أنها ناجحة جدًا، لم تعد نظرية الأوتار مفضلة ولم تعد ضرورية، ولكن سرعان ما تم إدرك أنه من خلال دمج فكرة التناظر الفائق في نظرية الأوتار، يمكن أن تولد من جديد كنظرية مرشحة لمهمة أكبر بكثير من نظرية القوة القوية: نظرية كل شيء.

الفرضية الأساسية لنظرية الأوتار الفائقة التناظر - أو الأوتار الفائقة - هي أن إحدى الطرق لتوحيد جميع القوى هي إضافة المزيد من الأبعاد إلى الفضاء، متجاوزين الثلاثة أبعاد التي ندركها.

تعود هذه الفكرة إلى عمل الفيزيائي النظري البولندي ثيودور كالوزا الذي لاحظ بعد نهاية الحرب العالمية الأولى، أنه إذا حل معادلات آينشتاين للحقول بالنسبية العامة في الزمكان خماسي الأبعاد بدلاً من أربعة، فإن الكهرومغناطيسية ستنبثق من الرياضيات كاهتزازات في هذا البعد الخامس غير المرئي.

عرض كالوزا أعماله على آينشتاين الذي أحبها في البداية.

يبدو أن ما حققه آينشتاين للجاذبية كان سيتم تحقيقة بالنسبة

للكهرومغناطيسية: تغيير وصفها الأساسي من قوة فيزيائية إلى هندسة بحتة.

ومع ذلك وعلى الرغم من إيجاد هذه الطريقة الأنيقة لتوحيد الضوء - الكهرومغناطيسية-، والجاذبية - النسبية العامة - معاً، سرعان ما أصبح معظم الفيزيائيين - بما في ذلك آينشتاين نفسه - متشككًا في أعمل كالوزا؛ حيث لم يكن هناك دليل تجريبي يشير إلى وجود هذا البعد الإضافي للفضاء.

بعد سنوات قليلة من فكرة كالوزا الأصلية؛ اقترح الفيزيائي السويدي أوسكار كلاين أن سبب إخفاء البعد الخامس هو أنه ملتف على نفسه، وبالتالي فهو صغير جدًا بحيث لا يمكن اكتشافه.

هناك تشبيه قياسي يساعد في شرح معنى ذلك.

من بعيد، يبدو الخرطوم وكأنه خط أحادي البعد، لكن قم بالتكبير وترى أنه في الواقع سطح ثنائي الأبعاد ملفوف حول أسطوانة.

كان البعد المكاني الثاني - الاتجاه الدائري حول الخرطوم - صغيرًا جدًا بحيث لا يمكن رؤيته من مسافة بعيدة.

اقترح كلاين أن الشيء نفسه ينطبق على البعد المكاني

الخامس لكالوزا، والذي كان ملتفًا في دائرة جزء من المليار من تريليون من حجم الذرة.

على الرغم من أن نظرية كالوزا لا تؤدي إلى توحيد الجاذبية والكهرومغناطيسية، إلا أنها ساعدت الباحثين على فهم أهمية الأبعاد العليا في نظرية الأوتار الفائقة.

ومع ذلك؛ فالآن وبدلاً من بعد مكاني واحد مخفي، هناك حاجة إلى أن يكون هناك ستة أبعاد، كلها ملفوفة في كرة سداسية الأبعاد مستحيلة التصور.

تنص نظرية الأوتار الفائقة على وجود عشرة أبعاد: أربعة للزمكان الذي نختبره بالإضافة إلى الأبعاد المخفية الستة.

حتى يومنا هذا؛ لا يزال هناك العديد من الباحثين الذين يتطلعون إلى توحيد قوى الطبيعة باعتماد نظرية الأوتار، ويجادلون بأننا وصلنا حتى الآن باستخدام أفكار ناجحة مثل: نظرية الحقل الكمومي والتناظر الفائق لفهم ثلاث من القوى الأربع؛ لذلك وبكل تأكيد يمكن ترويض الجاذبية .. ربما كانوا مصيبين.

تبدأ نظرية الأوتار بخصائص ميكانيكا الكم للمادة داخل الزمكان، فكرتها المركزية هي أن جميع الجسيمات الأولية

الشبيهة بالنقطة هي في الواقع أوتار صغيرة، تهتز في الأبعاد المخفية، هذه الأوتار أصغر بكثير من المقاييس التي يتم فحصها حاليًا بواسطة فيزياء الجسيمات؛ وبالتالي يمكننا اختبارها فقط بالتعامل معها كجسيمات نقطية.

كانت المشكلة التي ظهرت في التسعينيات هي أنه ظهر أن هناك خمسة إصدارات مختلفة من نظرية الأوتار، ولم يعرف أحد أيها هو الصحيح؛ لذلك تم اقتراح إطار عمل جديد وأكبر، والذي وحد جميع الإصدارات الخمسة تحت مظلة واحدة.

هذا الإطار الشامل يسمى الآن نظرية M، وهي نظرية التناظر الفائق ذات أحد عشر بُعدًا، وليس عشرة أبعاد.

مرة أخرى على ما يبدو هناك حاجة إلى بُعد خفي آخر للمساعدة في برنامج التوحيد الكبير.

إذن؛ هل هذا هو الحل؟ هل نظرية M بشكل مطلق هي «نظرية كل شيء»؟

للأسف؛ لا يمكننا الإجابة بعد.

في حين أن رياضياتها أنيقة وقوية، ما زلنا لا نعرف ما إذا كانت نظرية الأوتار أو نظرية M هي الأوصاف الحقيقة للواقع.

سأناقش في الفصل التالي بعض القضايا والخلافات العالقة حول هذا الموضوع.

على أية حال؛ فإن نظرية M لها خصم جدير في السباق نحو التوحيد.

هـذه النظريـة المنافسـة هـي نظريـة تخمينية، لكن عـددًا من علمـاء الفيزياء النظرية يرونها طريقة أنقى وأكثر عقلانية لمعالجة توحيد القوى.

يطلـق علـى هـذه النظريـة المنافسـة نظريـة الجاذبيـة الكمية الحلقية، وقد برزت في بداية العقد الأخير من القرن العشرين.

الجاذبية الكمية الحلقية

لا تبـدأ الجاذبية الكمية الحلقية من نظرية الحقل الكمومي، بل تبدأ من الاتجاه الآخر ـ من النسبية العامة -.

إنهـا تفترض أن الزمكان نفسـه، وليس المـادة التي يحتويها، هي اللبنة الأساسية.

مـن الناحيـة الجمالية قـد يبدو مـن المنطقـي محاولة قياس حقـل الجاذبيـة - والـذي، وفقًـا للنسـبية العامـة، هـو الزمـكان نفسـه -؛ وبالتالي، إذا نزلنا إلى مقاييس طولية صغيرة بما يكفي،

يجب أن نرى الفضاء أصبح محببًا - على هيئة نقاط - ومنفصلًا بالطريقة نفسها التي اقترحها ماكس بلانك في عام ١٩٠٠ حيث قترح أن الإشعاع الحراري في نهاية المطاف ينبعث في كتل كمومية.

يشير تكميم الفضاء إلى أنه يجب أن يكون هناك طول أصغر لا يمكن تقسيمه.

ومع ذلك؛ فإن كمية طاقة الجاذبية هي كمية الفضاء نفسها؛ مما يعني أن طاقة الجاذبية غير موجودة في شكل كتل داخل الفضاء... بل إنها كتل من الفضاء نفسه(*).

يُعتقد أن أصغر وحدة في الفضاء - كمية الحجم - هي طول بلانك، أو $١٠^{-٣٥}$ متر(*).

لطالما استمتعت بمحاولة إيجاد طرق لوصف مدى صغر هذا الحجم.

على سبيل المثال: تحتوي النواة الذرية على كم من أحجام

(*) بحسب هذه النظرية: هذا يعني أن الفضاء نفسه متقطع/ متكتل (غير متصل) على المستوى ما دون الذري. (المترجم)

(*) هذا المقدار يساوي 0.00000000000000000000000000000000001 متر. (المترجم)

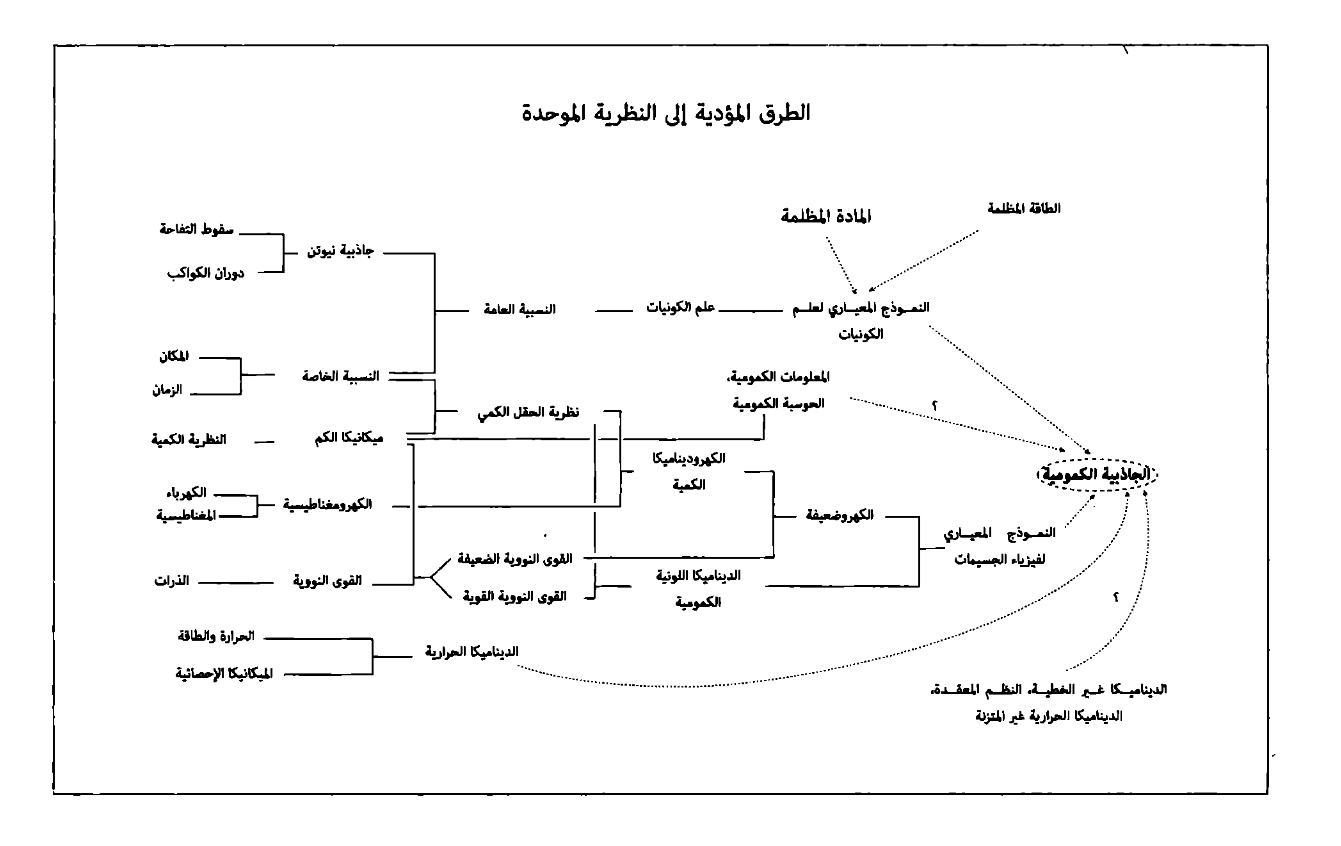
بلانك بداخلها مثل ما تحتويه مجرة درب التبانة من أمتار مكعبة.

يبدو هذا التقطع في الفضاء حتميًا إذا أردنا تكميم حقل الجاذبية؛ وبالتالي، يجب أن يكون الوقت أيضًا «متكتلًا»؛ لذا فالمكان والزمان اللذان نختبرهما ليسا أكثر من تقريب واسع النطاق لكمات الجاذبية المتكتلة، ولكنهما لا يبدوان كذلك؛ لأن وحدات البيكسل الفردية للزمكان أصغر من أن ندركها.

تتناقض الجاذبية الكمية الحلقية بشكل كبير مع نظرية الأوتار؛ حيث تتنبأ نظرية الأوتار بأنه تمامًا كما تتجلى القوى الثلاث التي يغطيها النموذج المعياري - الكهرومغناطيسية والقوى النووية القوية والقوى النووية الضعيفة- من حقول كمية تتمظهر في الواقع على شكل جسيمات حاملة للقوة، وكذلك الأمر مع حقل الجاذبية؛ حيث يتمظهر بوساطة جسيم كمي للجاذبية: الجرافيتون، وهو في حالة وتر عديم الكتلة.

ففي نظرية الأوتار الحقول الكمية للجاذبية تتواجد داخل الزمكان، بينما في الجاذبية الكمية الحلقية يكون الزمكان نفسه مكممًا.

تشير الجاذبية الكمية الحلقية إلى المسارات المغلقة التي تأخذك من الفضاء الكمي عبر روابطها بالكميات المجاورة حول


الطرق المؤدية إلى النظرية الموحدة
الطاقة المظلمة
المادة المظلمة
سقوط التفاحة
دوران الكواكب
جاذبية نيوتن
النسبية العامة
علم الكونيات
النمـوذج المعيـاري لعلـم الكونيات
المكان
الزمان
النسبية الخاصة
المعلومات الكمومية، الحوسبة الكمومية
نظرية الحقل الكمي
؟
النظرية الكمية
ميكانيكا الكم
الكهروديناميكا الكمية
الجاذبية الكمومية
الكهرباء
المغناطيسية
الكهرومغناطيسية
الكهروضعيفة
النمـوذج المعيـاري لفيزياء الجسيمات
القوى النووية الضعيفة
الذرات
القوى النووية
القوى النووية القوية
الديناميكا اللونية الكمومية
؟
الحرارة والطاقة
الميكانيكا الإحصائية
الديناميكا الحرارية
الديناميـكا غـير الخطيـة، النظـم المعقـدة، الديناميكا الحرارية غير المتزنة

◄ شكل ٤. التوحيد - مخطط (مبسط) يوضح كيف اجتمعت المفاهيم في الفيزياء (النظريات، الظواهر، القوى) على مر السنين. لاحظ أنه في حين أن التسلسل الزمني صحيح (يمتد من اليسار إلى اليمين)، يجب ألا تعتمده كثيراً. على سبيل المثال: تظهر النسبية الخاصة أسفل الجاذبية النيوتونية مباشرة على الرغم من أنها جاءت بعد قرون.

حلقة ومن ثم العودة إلى نقطة البداية. يحدد طبيعة هذه الحلقات انحناء الزمكان. هي ليست كيانات مادية مثل الأوتار. كل ما هو حقيقي هو العلاقة بين الحلقات.

بمعنى ما: الجاذبية الكمية الحلقية متواضعة في نطاقها، ولكن عندما تفكر في الأمر بعناية أكبر، تبدأ في إدراك أنه إذا كان هذا هو الوصف الصحيح للواقع؛ فعندئذٍ لن يبدو الأمر على أن الأحداث تحدث في الفضاء ولمدة زمنية، بل إن الكون وكل شيء فيه - كل المادة والطاقة - ليس أكثر من تعايش للحقول الكمية المتراكبة بعضها على بعض، وهذه الحقول لا تتطلب فضاء وزمان لتتواجد فيه؛ لأن الزمكان هو نفسه أحد هذه الحقول الكمومية.

باختصار؛ لا يمكننا حتى الآن الادعاء بأن لدينا نظرية حقيقية لكل شيء، ولم نفهم بعد كيفية الجمع بين ميكانيكا الكم والنسبية

العامة معًا.

فبدلاً من ذلك؛ لدينا نظريات مرشحة تعطي بعض الأمل، ولكن لا يزال فيها العديد من الأسئلة دون أجوبة.

لقد بنى الفيزيائيون اللامعون حياتهم المهنية على نظرية واحدة أو أخرى من هذا القبيل، ولكن تمامًا كما هو الحال مع التفسيرات المختلفة لميكانيكا الكم - هناك الكثير من علم الاجتماع المؤثر في العلوم(*)- والآراء حول هذه التفسيرات، وأي منها يعطي وعودًا أكثر، فإن الأمر يعتمد حقًا إلى من تتحدث عند سؤالك عن أفضل هذه التفسيرات.

بشكل عام؛ في الزاوية الحمراء لدينا نظرية الأوتار، وهي أفضل ما توصلنا إليه حاليًا في توحيد قوى الطبيعة الأربعة، لكنها على الرغم من ثلاثة عقود ونصف من البحث لا تزال تخمينية.

يدعي بعض الفيزيائيين أنه على الرغم من كل التقدم الذي أحرزته، فإنها تصل الآن إلى شيء من الأزمة؛ لأنها لم تف بوعودها المبكرة.

(*) هناك الكثير من التفسيرات لمحاولة فهم حقيقة الواقع بناء على النظريات الفيزيائية، وهذه التفسيرات متأثره بخلفيات وأيدولوجيات أصحابها. (المترجم)

في الواقع؛ يمكن القول إنها ليست نظرية علمية صحيحة بعد؛ لأنها لم تقدم أي تنبؤات قابلة للاختبار، ثم في الزاوية الزرقاء، لدينا الجاذبية الكمية الحلقية، والتي تبدو أنها الطريقة الأكثر منطقية لإدراك الزمكان، لكنها لا تخبرنا كيف نجمع الجاذبية مع القوى الثلاث الأخرى، وما زلنا لا نعرف، سواءً كانت إحدى هاتين النظريتين صحيحَة، أو ما إذا كنا بحاجة إلى دمج الاثنتين بطريقة ما، أو حتى البحث عن نظرية جديدة تمامًا.

يقودنا هذا بشكل جيد إلى حيث المشاكل والخلافات الحالية المعلقة في الفيزياء الأساسية، وما هي التطورات المحتملة في العقود القادمة.

الفصل الثامن
مستقبل الفيزياء

قد يشير النجاح الملحوظ لفيزياء القرن العشرين إلى أن كل ما تبقى علينا هو تسوية بعض التجاعيد وتنقيح قياساتنا التجريبية ووضع اللمسات الأخيرة على نظرياتنا الرياضية، وأن معظم ما يجب معرفته معروف بالفعل ونقوم فقط بالعناية بالقليل من التفاصيل المتبقية.

قد يكون لديك انطباع بأنه لا توجد حاجة لنيوتن أو آينشتاين آخر - أو بالفعل ماكسويل، رذرفورد، بوهر، ديراك، فاينمان، ويتن، أو هوكينغ - ليأتي ويحدث ثورة جديدة في الفيزياء؛ لأننا بالفعل على مسافة قريبة من «نظرية كل شيء» التي بمقدورها أن تشرح لنا طريقة عمل الكون بأكمله.

ولسوء الحظ أو لحسن الحظ؛ إذا كنت باحثًا فيزيائيًا بدأت للتو في حياتك المهنية وتبحث عن المسائل الكبيرة لمعالجتها وإنهائها، فإن الحقيقة بعيدة كل البعد عن ما تم ذكره آنفاً.

في الواقع؛ أود أن أقول إننا بعيدون عن نهاية الفيزياء اليوم أكثر مما كنا نظن قبل عشرين أو ثلاثين عامًا.

نتحدث عن النموذج المعياري على أنه يصف جميع اللبنات الأساسية للمادة والطاقة، لكننا الآن على يقين تام من أن كل ما وجدناه لا يشكل سوى خمسة بالمائة من الكون، والـ ٩٥٪ الأخرى المعروفة بالمادة المظلمة والطاقة المظلمة لا تزال غامضة إلى حد ما.

نحن واثقون من وجودها، لكننا لا نعرف مم هي مصنوعة أو كيف تتواءم مع نظرياتنا الحالية.

في هذا الفصل سأبحث هذا اللغز جنبًا إلى جنب مع التحديات البارزة الأخرى في الفيزياء الأساسية.

المادة المظلمة

تشير سرعة دوران المجرات، وحركة المجرات بأكملها داخل عناقيد المجرات، وكذلك البنية الواسعة النطاق للكون بأسره، إلى مكون مهم للكون يتكون من مادة شبه غير مرئية، نسميها «مظلمة»، ليس لأنها مخفية خلف مادة مرئية أخرى، أو حتى لأنها مظلمة بالفعل؛ ولكن لأنها - على حد علمنا - لا تتأثر بالقوة الكهرومغناطيسية، وبالتالي لا تبعث الضوء ولا تتفاعل مع المادة العادية، باستثناء

تفاعلها مع الجاذبية[1]؛ ولذا فإن الاسم الأفضل لها هو المادة غير المرئية.

فكر للحظة في السبب؛ إذا ضربت يدك على طاولة صلبة، فلن تمر بشكل مستقيم.

قد تعتبر هذا أمرًا تافهًا: بالتأكيد يرجع ذلك إلى أن كلاً من يدك والطاولة مصنوعة من مواد صلبة، لكن لا تنسَ أنه على مستوى الذرات، تكون المادة في الغالب عبارة عن مساحة فارغة - سحب منتشرة من الإلكترونات تحيط بنواة صغيرة -؛ وبالتالي يجب أن يكون هناك متسع كبير للذرات التي تشكل يدك لتمرير الذرات بسهولة من الطاولة دون أن تلامس أي مادة فيزيائية.

والسبب في عدم مرور يدك هو القوة الكهرومغناطيسية بين

---

(١) بالطبع، هناك جسيمات مادية، مثل النيوترينات، لا تتأثر أيضًا بالقوة الكهرومغناطيسية. ومع ذلك؛ فإنها تتفاعل بدلاً من ذلك مع المواد الأخرى من خلال القوة النووية الضعيفة؛ وبالتالي فهي ليست ما يشار إليه بالمادة المظلمة. حتى المادة المظلمة نفسها قد تتفاعل عبر واحدة أو أكثر من القوى الثلاث الأخرى، لكن يجب أن تكون ضعيفة جدًا - وإلا تمكنا من قياسها الآن -. لم يتخلَّ الفيزيائيون تمامًا عن الأمل في مثل هذا التفاعل الصغير غير الجاذبي؛ لأن ذلك سيزيد من فرص اكتشاف جسيمات المادة المظلمة أو تكوينها في المعجلات.

الإلكترونـات فـي ذرات يـدك والإلكترونات فـي ذرات الطاولة، والتـي تتنافـر مع بعضهـا البعـض وتوفـر المقاومة التـي نختبرها كصلابة.

ومـع ذلـك؛ إذا كانـت يدك مصنوعـة من مادة مظلمـة، فإنها ستمر مباشـرة كما لو أن الطاولة لـم تكن موجودة - قوة الجاذبية بينهما ضعيفة جدًا بحيث لا يكون لها تأثير كبير.

مـن المعـروف منذ فترة طويلة أن للمجـرات كتلة أكبر بكثير ممـا يمكن حسـابه إذا قام المـرء بقياس كل المـواد الطبيعية التي تحتويها في شكل نجوم وكواكب وغبار وغاز بين النجوم.

فـي مرحلـة ما؛ كان يُعتقـد أن المادة المظلمـة قد تتكون من نجوم ميتة منذ زمن طويل وثقوب سـوداء - أجسـام مصنوعة من مادة عادية، لكنها لا تصدر ضوءً -.

ومع ذلك؛ تشير الأدلة الدامغة الآن إلى أن هذه الأشياء غير المرئيـة يجـب أن تتكـون مـن نـوع جديد مـن المـادة، وهو على الأرجح نوع جديد من الجسيمات لـم يتم اكتشافه بعد.

فـي الأصل؛ تـم اقتراح المادة المظلمة لشـرح الديناميكيات واسـعة النطاق لمجموعات كاملة مـن المجرات، ثم جاءت أدلة أخـرى مـن الطريقـة التي تحركـت بها النجـوم داخـل المجرات

الحلزونيـة، حيـث كانت تـدور مثل حبيبـات القهوة غيـر المذابة على سطح كوب من القهوة سريعة الذوبان بعد أن تم تقليبها.

تتركـز معظـم النجـوم - وبالتالـي؛ فـي اعتقـادك معظـم الكتلـة - فـي قلـب المجـرة، الأمر الـذي يتطلب تحـرك النجوم الموجودة في الحافة الخارجية حول المركز بشكل أبطأ.

فـي الواقع؛ تدور هذه النجـوم الخارجية حول مركز المجرة بسرعات مدارية عالية - أعلى مما كان يتوقع، وهذا يشير إلى أنه لا بـد مـن وجـود بعض الأشـياء غيـر المرئيـة الإضافيـة في قلب المجـرة؛ لتوفر صمـغ الجاذبية الإضافي لمنع النجـوم الخارجية من الطيران(*).

يمكـن أيضًا رؤية المادة المظلمة من الطريقة التي ينحني بها الفضاء حولها.

هـي ظاهـرة تتجلى في الطريقـة التي ينحني بهـا الضوء أثناء السير في طريقه من الأجسام البعيدة جدًا إلى تلسكوباتنا.

يمكـن تفسـير مقـدار الانحنـاء فقـط مـن خـلال الانحنـاء

(*) وجـود هـذه المادة ضروري لزيـادة الجاذبية نحو مركـز المجرة، لكي تتساوى سرعة الطرد المركزية للنجوم مع الجاذبية نحو مركز المجرة. (المترجم)

الثقالي(*) الإضافي للفضاء الذي تنتجه المادة المظلمة في المجرات التي يمر بها الضوء في طريقه إلينا.

إذن؛ ما الذي نعرفه عن المادة المظلمة بخلاف أنها توفر هذا الجاذبية الإضافية الضرورية؟ ألا يمكن تفسير هذه الجاذبية الإضافية بشيء أقل غرابة من شكل جديد للمادة؟

في الواقع؛ يقترح بعض علماء الفيزياء الفلكية أنه قد لا تكون هناك حاجة للمادة المظلمة على الإطلاق - إذا سُمح لنا بتعديل خصائص قوة الجاذبية على مسافات كبيرة -.

إن الفكرة المعروفة باسم MOND - الديناميكيات النيوتنية المعدلة - هي إحدى هذه الاقتراحات، وفي ظاهرها يمكن أن تبدو هذه الفكرة جذابة للغاية.

ومع ذلك في حين أن الديناميكيات النيوتنية المعدلة، أو الفرضيات الأخرى ذات الصلة التي تعدل النسبية العامة؛ يمكن أن تفسر بعض التأثيرات المرصودة، إلا أن هناك الكثير مما لا يمكنها تفسيره.

لم يكن أي من هذه النماذج قادرًا على مطابقة بيانات الرصد

(*) يقصد بالانحناء الثقالي: الانحناء الذي تسببه الكتل في الفضاء (الثقل = الجاذبية).. جاذبية آينشتاين؛ حيث ينحني الزمكان. (المترجم)

الخاصة بمجموعات المجرات، ولا سيما عناقيد المجرات المتصادمة - مثل: تجمع الطلقة الشهيرة -، والبنية المفصلة لإشعاع الخلفية الكونية الميكروية، أو عناقيد النجوم الكروية، أو مؤخرًا مجرات الأقزام الصغيرة.

يبدو أن وجود المادة المظلمة ضروري أيضًا لتفسير بنية الكون المبكر.

على النقيض من المادة العادية التي أبقت طاقتها عالية من خلال تفاعلها مع الحقل الكهرومغناطيسي، فإن المادة المظلمة بردت بسرعة أكبر مع توسع الكون؛ وبالتالي بدأت تتكتل معًا بفعل الجاذبية في وقت مبكر.

كانت إحدى أهم النتائج في الفيزياء الفلكية في السنوات الأخيرة هي المحاكاة الحاسوبية المتطورة لتشكيل المجرات التي أكدة على أنه لا يمكننا تفسير الكون الحقيقي إلا إذا كان يحتوي بالفعل على كميات كبيرة من المادة المظلمة.

بدونها .. لن نحصل على الهياكل الكونية الغنية التي نراها اليوم، وبعبارة أكثر صراحة: بدون المادة المظلمة؛ فإن معظم المجرات، وبالتالي النجوم والكواكب، لا يمكن أن تتشكل في المقام الأول.

هـذا الاسـتنتاج الرائـع مدعوم بشـكل جميـل بالبيانات التي تُظهر تقلبات دقيقة في درجة حرارة الفضاء السحيق؛ حيث بصمة الكون الصغير جدًا على إشعاع الخلفية الكونية الميكروي.

تـم التعرف في أواخر السـبعينيات على أن هذه التقلبات في الخلفيـة الميكرويـة الكونية – على الرغم من أنها مفيدة في توفير البـذور لتوزيع المادة فـي الوقت الحاضر في هذا الكون – كانت صغيرة جدًا لتفسير كيفية تشكل المجرات.

سـاعدت المـادة المظلمـة فـي توفيـر التكتـل الإضافـي المطلوب.

لقـد كان أحـد الانتصـارات العلمية العظيمة فـي نهاية القرن العشـرين عندما قـاس القمـر الصناعـي COBE[1] هـذه التقلبات لتكون بالضبط كما هو متوقع.

ومنذ ذلك الحين؛ قامت بعثات فضائية أخرى برسم خرائط لهـذه التجاعيد في الخلفية الكونية الميكروية بدقة متزايدة: مهمة

---

(١) كان مستكشف الخلفية الكونية، الذي يشار إليه أيضًا باسم Explorer 66، عبـارة عن قمـر صناعي مخصص لعلـم الكونيات، والذي تم تشـغيله من عام ١٩٨٩ إلى عام ١٩٩٣. وكانت أهدافه هي التحقيق في إشعاع الخلفية الكونية الميكروي للكون.

WMAP التابعة لناسا في العقد الأول من هذا القرن، ثم القمر الصناعي Planck التابع لوكالة الفضاء الأوروبية، والذي تم إطلاقه في عام ٢٠٠٩.

بينما لا يساورنا أدنى شك في أن المادة المظلمة حقيقية، إلا أننا ما زلنا في حالة جهل بشأن ماهية هذه المادة، حتى أصبحت مصدر متزايد للإحباط في الفيزياء الفلكية؛ حيث أنه بالتوازي مع تراكم الأدلة لدعم المادة المظلمة، فقد فشلنا في معرفة ماهيتها بالفعل.

الإجماع الآن هو أنها تتكون من نوع جديد من الجسيمات الثقيلة - ثقيلة بمعايير الجسيمات الأولية -، ومعظم الجهود التجريبية حتى الآن تركز على بناء كواشف متطورة تحت الأرض يمكنها التقاط الأحداث النادرة للغاية عندما يتصادم جسيم المادة المظلمة المتدفق من الفضاء وجهاً لوجه مع ذرة في الكاشف.

حتى الآن؛ لم يتم التقاط أي إشارة من هذه التجارب المعقدة والحساسة التي يتم تصميم الكثير منها بشكل متزايد.

ومع ذلك؛ يظل الفيزيائيون الذين يبحثون عن المادة المظلمة متفائلين.

على الأرجح كما يقولون؛ ستكون المادة المظلمة على هيئة

جسيمات بطيئة الحركة، مكونة ما يعرف باسم «المادة المظلمة الباردة»، ولا يوجد نقص في الاقتراحات حول ماهية هذه الجسيمات، وبأسماء تبدو رائعة مثل: الأكسيونات والنيوترينات المعقمة، و WIMPs[1] و GIMPs[2].

يشعر الكثيرون بالثقة في أن الأدلة التجريبية ستظهر قريبًا، ولكن... لقد قالوا هذا منذ مدة!

يجب أن أتحدث قليلاً في هذه المرحلة عن النيوترينات التي كانت لفترة من الوقت المرشح الرئيسي للمادة المظلمة.

هذه جسيمات متملصة لكننا نعرف أنها موجودة بشكل وفير، ولها كتلة صغيرة وغير مرئية تقريبًا.

ستحتاج إلى سماكة درع رصاصي بسمك سنة ضوئية حتى يكون لديك فرصة ٥٠٪ لإيقافها.

يمكنك القول إنها بكل المقاصد والأغراض: «مادة مظلمة».

ومع ذلك؛ لا يمكن أن تكون المادة المظلمة التي نبحث عنها؛ لأنها - لكونها خفيفة جدًا - تسافر بسرعة قريبة من سرعة

---

(١) جسيمات ضخمة ضعيفة التفاعل.

(٢) جسيمات ضخمة تتأثر بالجاذبية.

الضـوء، أسـرع من أن تظل مقيـدة داخل المجـرات، وبالتالي لن تفسر الخصائص الشاذة للمجرات.

نشـير إلـى النيوترينـات على أنها مـادة مظلمة سـاخنة؛ لأنها تتحرك بسرعة كبيرة.

وكما لو أن مشكلة المادة المظلمة التي لم يتم حلها لم تكن كبيرة بما يكفي للفيزيائيين، فنحن نعرف الآن مادة غامضة أخرى تملأ الكون، والتي تلعب دورًا حيويًا في تشكيله.

الطاقة المظلمة

فـي عـام ١٩٩٨ كان علماء الفلك يدرسـون الضوء الخافت للمسـتعرات العظيمة في المجرات البعيدة؛ لحسـاب السـرعات التـي تبتعد بها هذه المجرات عنا بسـبب توسـع الكون، ووجدوا أنها كانت تتحرك بشـكل أبطأ مما تقترحه مسـافتها عنا[*]؛ ونظرًا لأن الضـوء الذي يصـل إلينا الآن من هذه المجـرات انبعث منها عندمـا كان عمـر الكون صغيرًا جدًا؛ فإن سـرعات الانتشـار التي

(*) بحسـاب سرعة هذه المجرات الآن والحساب التقديري لعمر الكون، كان يجـب أن تكـون هـذه المجـرات بعيـدة عنا بمسـافة أكبـر؛ لذلك أسـتنتج العلماء أن سـرعة المجرات في السابق كانت أبطأ من سرعتها الحالية. (المترجم)

كانت أبطأ من المتوقع تعني أن الكون كان يتوسع بشكل أبطأ في الماضي.

نحن نعلم أن الجاذبية التراكمية لجميع المواد في الكون - المادة الطبيعية والمظلمة على حد سواء - كانت سببًا في إبطاء تمدد الكون، لكن يظهر أن هناك سبباً آخر جعله يتوسع الآن بسرعة أكبر مما كان عليه في الماضي.

هذه المادة الغامضة النافرة التي تعمل ضد الجاذبية وتتسبب في تمدد الفضاء بسرعة أكبر، أصبحت تُعرف باسم الطاقة المظلمة.

وفقًا لفهمنا الحالي؛ قد تؤدي الطاقة المظلمة في النهاية إلى ما يسمى بـ «الموت الحراري» للكون بعد مليارات السنين من الآن، حيث يستمر الفضاء في التوسع بسرعة أكبر ويبرد بينما يستقر نحو حالة من التوازن الديناميكي الحراري، ولكن إلى أن نفهم حقًا طبيعة الطاقة المظلمة، وبكل تأكيد خصائص الكون المبكر جدًا - انظر القسم التالي -، لا ينبغي أن نتسرع في التخمين بشأن مصيرها النهائي.

الطريق لايزال طويلاً، ويمكن أن يحدث أي شيء بين الحين والآخر!

حتى قبل بضع سنوات؛ كنت سأقول إننا نعرف القليل عن الطاقة المظلمة مقارنة بما نعرفه عن المادة المظلمة، لكن الوضع قد تغير الآن.

هناك كمية في معادلات آينشتاين للنسبية العامة تُعرف بالثابت الكوني - ويُشار إليها بالحرف اليوناني Λ، أو لامدا -، هذه الكمية ملائمة لما تم ملاحظته.

ما نسميه الطاقة المظلمة هو على الأرجح طاقة الفضاء الفارغ نفسه - ما يشار إليه بالفراغ الكمومي -.

لقد رأينا كيف يصل كل شيء في النهاية إلى حقولها الكمومية.

يمكن اعتبار جميع الجسيمات المختلفة التي تتكون منها المادة والطاقة، سواء كانت كواركات أو إلكترونات أو فوتونات أو بوزونات هيغز، مجرد إثارة موضعية لهذه الحقول الكمومية - مثل الأمواج على سطح المحيط.

ومع ذلك؛ إذا كنت تريد إزالة جميع الجسيمات من مساحة كبيرة، فإن هذا لا يلغي وجود الحقل الكمومي.

بدلاً من ذلك؛ نقول إنها تُركت في المستوى الحضيضي(*)،

(*) المستوى الحضيضي لنظام ما، هو المستوى الأدنى للطاقة الذي =

أو حالـة فـراغ، ولكـن سـتظل هنـاك جسـيمات افتراضيـة تظهـر وتخرج من الوجود داخل هذا الفراغ طوال الوقت؛ حيث تستعير الطاقـة مـن محيطهـا من أجـل أن تظهـر، ولكن هذه الجسـيمات سـتبعث هذه الطاقة بنفس السـرعة عندما تختفي مرة أخرى؛ لذا فـإن القـول بأن الفـراغ الكمومي للفضـاء الفارغ بـه طاقة صفرية سيكون مماثلاً للادعاء بأن المحيط الهادئ ليس له عمق.

هذه الطاقة المظلمة هي ما يعادل الماء الموجود تحت سطح المحيط - إنها الثابت الكوني.

ومـع ذلـك؛ فإن وجود رمز رياضي للطاقـة المظلمة لا يعني أننا نفهم طبيعتها تمامًا.

تشير القياسات الفلكية إلى أن الثابت الكوني له قيمة عددية معينة، ولكن - مثل كتلة بوزون هيغز في النموذج المعياري - لا نعرف سبب احتوائه على هذه القيمة.

تُعرف هذه المشكلة التي طال أمدها في الفيزياء باسم الضبط الدقيق، وهي غير مرضية للغاية.

وفي الحقيقة فإن الأمور أسوأ من هذا.

= يمكـن أن يوجـد فيه هـذا النظام، وهو مسـتوى الطاقة الأدنـى للنظام. (المترجم)

التناقض بين طاقة الفراغ المحسوبة من نظرية الحقل الكمي وطاقة الفراغ المرصودة من القياسات الكونية كبير جدًا، لدرجة أنها واحدة من أكثر المشكلات المحرجة وغير المحلولة في الفيزياء.

كما ترى؛ القيمة المحسوبة هي أكبر ١٢٠ مرة من القيمة المرصودة.

«أفضل تخمين» لنموذجنا الكوني - المكافئ للنموذج القياسي في فيزياء الجسيمات - والذي يندرج تحت مظلته ما نعرفه حاليًا عن المادة المظلمة والطاقة المظلمة، نموذج ΛCDM - أو نموذج لامدا - للمادة المظلمة الباردة -، وعلى غرار الطريقة التي تدعم بها نظريات الحقل الكمومي الأعمق التحالف الفضفاض للنموذج القياسي لفيزياء الجسيمات، كذلك تدعم النسبية العامة النموذج الكوني: لامدا - للمادة المظلمة الباردة.

هناك عامل آخر أكثر أهمية في نموذج لامدا للمادة المظلمة الباردة، والذي يزعم معظم علماء الكونيات، ولكن ليس كلهم بأي حال من الأحوال، أنه ضروري لشرح خصائص الكون الذي نراه، يطلق عليه التضخم الكوني، وهو يوفر إجابة محتملة لهذا السؤال الدائم: في المقام الأول: كيف نشأ الكون وكل هذه المادة والطاقة التي يحتويها؟

التضخم والأكوان المتعددة

كما تطرقنا في بداية هذا الكتاب؛ منذ فجر التاريخ البشري أنشأ الإنسان العديد من الأساطير حول نشأة الكون.

اليوم؛ أعطتنا الفيزياء تفسيرًا مبهمًا لكيفية بدء الكون، مع أدلة مرصودة غامرة لدعمه، لكن هل كان للانفجار العظيم سبب؟ وفي المقام الأول: هل كان هناك شيء تسبب في ولادة كوننا؟

أبسط إجابة هو: أنه لم يكن هناك «قبل» الانفجار العظيم أي شيء؛ لأنه يمثل ولادة كل من المكان والزمان.

فكرة طرحها ستيفن هوكينغ وجيمس هارتل، تسمى « بلا حدود »، وهو اقتراح ينص على أنه بينما نعيد عقارب الساعة إلى الوراء أقرب وأقرب إلى الانفجار العظيم، يبدأ الوقت في فقدان معناه ويصبح أشبه ببعد من أبعاد الفضاء؛ لذلك ننتهي بفضاء ناعم رباعي الأبعاد عند نقطة من أصل الكون؛ لذلك لا معنى للسِؤال عما حدث قبل الانفجار العظيم، بنفس الطريقة التي لا معنى لها أن نسأل ما هي النقطة على سطح الأرض التي تقع جنوب القطب الجنوبي.

لكن نموذج الانفجار العظيم لا يكفي لوحده لشرح الكون الذي نراه اليوم.

على وجه الخصوص حيرت مشكلتان علماء الكونيات منذ نصف قرن: الأولى: تسمى مشكلة التسطيح.

هذه مشكلة أخرى تتعلق بالضبط الدقيق وتتعلق بكثافة المادة والطاقة في الكون، والتي يبدو أن لها القيمة الصحيحة تمامًا لجعل الفضاء مسطحًا تمامًا(*).

وتسمى المشكلة الثانية: مشكلة الأفق.

ربما يكون أبعد ما يمكن أن نراه في الفضاء جزءًا صغيرًا من الكون بأكمله، وهناك أفق لا يمكننا رؤيته أبدًا.

يمثل هذا الأفق حافة ما يعرف بالكون المرئي.

إنها موجودة؛ لأن الكون لم يكن موجودًا منذ الأزل، والضوء يستغرق وقتًا معينًا للوصول إلينا.

هناك تعقيد إضافي يتمثل في أن الكون يتمدد، وفي بعض المسافات يتمدد الفضاء بشكل أسرع مما يمكن الضوء من

(*) أفضل طريقة لتصور ذلك: تصور أن الكون عبارة عن شرائح مسطحه بعضها فوق بعض. (المترجم)

الانتقـال خلالـه - مثـل: محاولـة صعـود سـلم متحـرك سـريع الهبوط -.

فكـر فـي مجـرة بالقرب مـن حافة الكـون المرئي فـي اتجاه واحد ومجرة أخرى بالقرب من الحافة في الاتجاه المعاكس.

بسـبب توسـع الكون؛ فإن أي كائنات ذكية تعيش في إحدى هـذه المجـرات البعيـدة لن تكـون مدركـة تمامًا لوجـود المجرة الأخـرى؛ حيث أن الضوء المنبعـث منها لم يصل إليها بعد، ولن يصل إليها أبدًا.

فـي الواقـع؛ لا يمكن أن تكـون مناطق الفضـاء التي تحتوي على المجرتين على اتصال ولا يمكن أن تتشارك المعلومات.

لماذا تعد هذه مشكلة؟

لأنـه فـي كل اتجاه ننظر إليه وبعيدًا بقدر ما نراه، يبدو الكون كما هو.

تبـدو كلتا هاتين المجرتيـن البعيدة متشـابهتين إلى حد كبير - فيمـا بينهمـا - مـن حيـث الخصائـص الفيزيائيـة، والتكويـن، وهيكل المادة بداخلها.

كيـف يمكـن أن يحدث هذا إذا لـم تكـن هذه المجرات على اتصال في الماضي؟

لحل هاتين المسألتين - مشكلة التسطيح ومشكلة الأفق - تم اقتراح مفهوم يُعرف باسم التضخم الكوني قبل أربعين عامًا

سارت الأمور على هذا النحو: عندما كان الكون مجرد جزء من الثانية، خضع لفترة قصيرة من التوسع الأسي بسبب حقل كمي آخر، يسمى حقل التضخم، نما الكون خلاله بسرعة هائلة إلى تريليون تريليون تريليون مرة ضعف الحجم الذي كان عليه من قبل.

هذا يحل مشكلة الكثافة المضبوطة بدقة مما يؤدي إلى نشوء الزمكان المسطح الذي نراه اليوم؛ لأن أي قدر ضئيل من الانحناء قد تمدد بسبب التضخم.

إن الطريقة التي يحل بها التضخم مشكلة الأفق أكثر إثارة للاهتمام؛ فالتفسير المعتاد هو أن الأجزاء البعيدة من الكون التي لا يبدو أنها حظيت بفرصة الاتصال لمزامنة خصائصها الفيزيائية، كانت في الواقع على اتصال في البداية، لكن هذا التضخم تسبب في توسع الفضاء بسرعة هائلة مما جعل هذه المجرات الآن بعيده جدًا عن بعضها البعض لتبدو لنا كما لو لم تكن على اتصال مطلقاً.

لقد قلت أن هذا هو «التفسير المعتاد»، ولكن إذا فكرت في

الأمر، فهناك شيئان غير صحيحين تمامًا في الإشارة إلى التضخم علـى أنـه توسـع سـريع: أولاً: لكـي تتمكـن الأجـزاء البعيدة من الكـون مـن التواصـل مع بعضهـا البعـض عندما كانـت قريبة من بعضهـا البعض، من المؤكد أنها تتطلب البقاء بالقرب من بعضها البعض لفترة أطول، وأن لا تتباعد بسرعة كبيرة.

ثانيًا: عندما نشير في الرياضيات إلى شيء ما بأنه أسي، فإننا نعنـي أنـه يتغير ببطء في البداية ثم يتسـارع بشـكل هائل - يصبح الميل أكثر حدة -.

هذه طريقة أفضل للتفكير في الكون المبكر التضخمي.

بدأ في التوسـع ببطء، ثم تسـارع، ثم فـي مرحلة ما تغير هذا التوسع الأسي إلى ما يسمى بتوسع «قانون القوة»؛ حيث بدلاً من أن يتسارع التوسع، بدأ في التباطؤ مرة أخرى - حتى بدأت الطاقة المظلمة تنطلق في منتصف حياة الكون وبدأت في تسريع التوسع مرة أخرى -.

بالطبـع؛ هـذا لا يخبرك بأي شـيء عـن الفكـرة أو عن مدى جاذبيتها، أو لماذا أو كيف تعمل؟

لذا؛ دعونا نقضي بعض الوقت في تحليل معناها.

لتقدير كيفية عمل التضخم؛ يجب أولاً أن تفهم الفرق بين الضغط الإيجابي والسلبي.

تخيل أنك تحمل بالونًا منفوخًا، يمارس الهواء بداخله ضغطًا على سطحه الداخلي، ويدفع للخارج، إذا كنت ستضغط الآن على البالون بيديك، فستستهلك جزءاً من طاقتك لضغط الهواء إلى حجم أصغر، وزيادة كثافته، وسيتم تخزين هذه الطاقة في جزيئات الهواء في البالون.

الآن؛ ضع في اعتبارك العملية العكسية: أرخِ يديك حتى يتمدد البالون مرة أخرى إلى حجمه الأصلي ويصبح الهواء الداخلي أقل كثافة مرة أخرى.

يجب أن تتراجع الطاقة المخزنة في جزيئاتها الآن إلى ما كانت عليه في الأصل[1]؛ لذا، فإن السماح للحجم داخل البالون بالتمدد يعني انخفاض طاقته.

هذا هو الوضع مع الضغط «الطبيعي» الإيجابي: يفقد الطاقة مع التمدد.

لكن ماذا لو امتلأ البالون بمادة غير معتادة فعلت العكس؟

---

(١) بالطبع، لا تعود هذه الطاقة إلى عضلات ذراعيك، ولكنها تتبدد بدلًا من ذلك على شكل حرارة مهدرة في محيط البالون.

ماذا لو ..؟ عندما تتوسع في الحجم، لم تنخفض كثافتها، لكنها ظلت ثابتة، وظلت الطاقة لكل وحدة حجم كما هي، وبالتالي زادت طاقتها الإجمالية؟ هذا ما نعنيه بشيء ذي «ضغط سلبي».

فبدلاً من زيادة طاقة محتويات البالون عند الضغط، تزداد عندما يتمدد.

أقرب مثال على ذلك في عالمنا اليومي هو الشريط المطاطي؛ حيث إن مده يضخ المزيد من الطاقة فيه.

وهذا بالضبط ما نمتلكه مع حقل التضخم الذي يملأ الفضاء: إنه يشبه الشريط المطاطي، وله خاصية أنه في كل مرة يتضاعف فيها حجم الفضاء، تتضاعف طاقته الإجمالية أيضًا من أجل الحفاظ على كثافة حقل ثابتة؛ لذا، يمنح حقل التضخم طاقة للكون، تمامًا كما تعطي الطاقة للشريط المطاطي عن طريق شده.

من المتوقع أن تطرح سؤالين هنا: أولاً: لماذا يتسبب حقل التضخم في توسع الفضاء؟

في نهاية المطاف؛ لا يتمدد الشريط المطاطي عفوياً من تلقاء نفسه.

وثانيًا: بالنظر إلى أن حقل التضخم يولد الطاقة، فمن أين تأتي هذه الطاقة؟

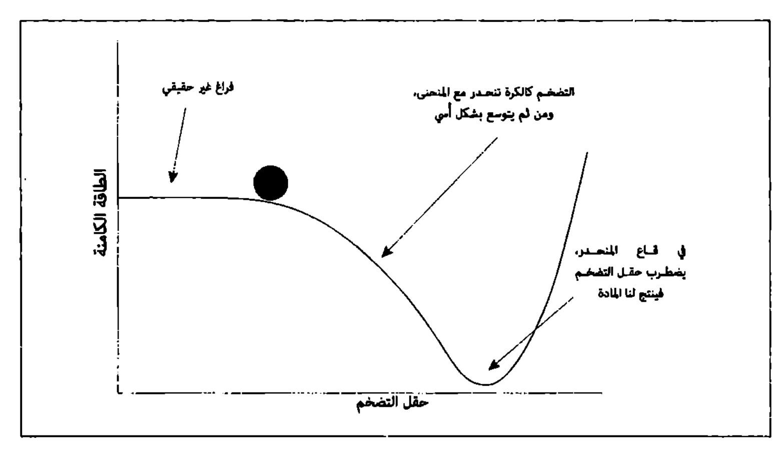
السؤالان كلاهما لهما إجابات ماكرة، ولكن منطقية يمكن العثور عليها، ولن تتفاجأ بسماعها، من معادلات النسبية العامة.

تخبرنا معادلات الحقل لآينشتاين أن الجاذبية يمكن أن تحدث بسبب وجود الضغط وكذلك الكتلة أو الطاقة؛ لذلك، في حين أن شيئًا ما له ضغط إيجابي، مثل: جزيئات الهواء في بالون، يؤدي إلى تولد قوة جاذبية طبيعية، فإن المادة ذات الضغط السلبي ستسبب العكس: الجاذبية المضادة - تدفع كل شيء بعيدًا عن بعضها البعض بدلاً من سحبها معًا.

يتمتع حقل التضخم بخاصية أن التأثير النافر لضغطه السلبي - أو الجاذبية المضادة - أكبر من الجاذبية الطبيعية التي تسببها طاقته، وبالتالي يتسبب في تمدد الفضاء بوتيرة متسارعة.

بالنسبة للمصدر الذي جاءت منه طاقة حقل التضخم في المقام الأول؛ فإن الإجابة هي أنها مستعارة من حقل الجاذبية الخاص بها.

فكر في كرة على قمة تل: لديها مخزون من الطاقة الكامنة الإيجابية والتي يمكن تحويلها إلى طاقة حركية إذا تدحرجت للأسفل، لكن الكرة الموجودة في أسفل التل ليس لها طاقة كامنة، بينما الكرة الموجودة في حفرة لها طاقة كامنة سالبة - لأنها تحتاج إلى طاقة لرفعها مرة أخرى إلى مستوى الأرض -.



الشكل ٥: التضخم - اكتسب الكون طاقته الإيجابية (التي خلق منها كل المادة) عن طريق «التدحرج» على منحدر طاقة وضع الجاذبية، وتوسع خلال ذلك.

يبدو الأمر كما لو أن كوننا بدأ بلا مساحة ولا طاقة، لكن التذبذب الكمومي جعله يبدأ في التدحرج على منحدر طاقة الجاذبية.

أثناء تدحرج الكرة للأسفل اكتسبت طاقة موجبة، ثمناً لانحدارها بشكل عميق في وادي الجاذبية من خلال زيادة طاقتها الكامنة للجاذبية السلبية - انظر الشكل ٥ -.

يشير عالم الكونيات إلى هذا على أنه الغداء المجاني الأخير - شيء من لا شيء -، وهذا يعطي إجابة أنيقة للسؤال: من أين أتت كل من المادة والطاقة في الكون في المقام الأول؟

هنـاك طريقة أخرى لفهم سـبب كـون طاقة الجاذبية سـالبة، وهـي النظر فـي المثال التالي: ابـدأ بكتلتين متباعدتين بشـكل لا نهائـي، مع عـدم وجود طاقة جاذبيـة بينهما، عندمـا ينجرفان إلى بعضهما سوف يكتسبان تدريجيًا طاقة جاذبية، لكن طاقة الجاذبية هذه سالبة بمعنى أنك ستحتاج إلى وضع طاقة إيجابية لتفكيكهم مرة أخرى وإعادتهم إلى الطاقة الصفرية التي بدؤوا بها.

عندما انتهى التضخم؛ تحللت طاقة حقل التضخم إلى طاقة عادية، وتكثفت في كل ما لدينا اليوم من مادة.

تم إنشـاء مـادة الكون من طاقة مسـتعارة من حقـل الجاذبية الخاص به، وهي حسبة فريدة من نوعها.

ولكـن لمجـرد أن نظرية التضخم تحل هذه المشـكلات في علـم الكونيـات لا يعنـي أنهـا صحيحـة، بينما يؤيد معظـم علماء الكونيـات هـذه النظريـة، هنـاك آخـرون يختلفـون معهـا، وهناك بالفعل بعض القضايا الدقيقة التي لـم يتم حلها بعد.

أحـد المنتقديـن هـو روجر بنـروز، العالـم الذي تعـاون مع ستيفن هوكينغ لإنتاج الكثير من الأبحاث.

بـدلاً مـن التضخم؛ اقترح بنروز نموذجه الخاص، المسـمى علـم الكـون الـدوري المطابق، والذي يمر فيه الكون بسلسـلة لا

نهائية من الحقب، يبدأ كل منها بمرحلة تشبه الانفجار العظيم.

في نهاية كل دورة كل ما تبقى، حتى بعد أن تبخرت الثقوب السوداء، هو الإشعاع الحراري.

حسب تخمينات بنروز، هذا مشابه للإشعاع السلس عالي الطاقة الذي من شأنه أن يملأ الكون بعد الانفجار العظيم مباشرة، ومع وجود صلة ذكية بين الإنتروبيا المنخفضة للكون في بدايته والإنتروبيا العالية في النهاية - لا يمكن لأي شيء أن يفلت من القانون الثاني للديناميكا الحرارية -؛ حيث يمكنه ربط نهاية دهر ببداية دهر آخر، ورؤية كل شيء يبدأ من جديد بانفجار كبير جديد.

يكفي القول بأن هذا الاقتراح أكثر إثارة للجدل من نظرية التضخم(*).

وبما أننا تعمقنا في عالم التكهنات فلماذا نتوقف الآن؟

(*) وهذا النموذج يضع للكون دورة حياة؛ بحيث يتدمر الكون وينشأ من جديد، ومن الجدير بالذكر أن روجر بنروز فاز بجائزة نوبل عام ٢٠٢٠، ولكن ليس لنموذجه المذكور هنا عن تكون الكون، لكن لاكتشافه أن تكوين الثقب الأسود كان تنبؤ قوي من تنبأت النظرية النسبية العامة. (المترجم)

تُعرف الفكرة الحديثة في علم الكونيات في الوقت الحالي باسم التضخم الأبدي.

في هذا السيناريو؛ يكون كوننا مجرد فقاعة صغيرة داخل فضاء لا نهائي ذي أبعاد عليا يُعرف بالكون المتعدد، والذي سيبقى في تضخم إلى الأبد.

في هذا السيناريو؛ لم يكن الانفجار العظيم الذي خلق كوننا سوى تذبذب كمي قبل ١٣,٨٢ مليار سنة، مما خلق فقاعة في هذا الفضاء المتضخم إلى الأبد.

توقف الفضاء داخل هذه الفقاعة - كوننا - عن التضخم وتباطأ حتى يتمدد بمعدل أكثر هدوءً، بينما واصل الكون المتعدد في الخارج تضخمه الجامح.

وهكذا؛ بدلًا من فترة قصيرة جدًا من التضخم تحدث بعد الانفجار العظيم، لدينا الآن أشياء في الاتجاه المغاير للانفجار العظيم الذي يشير إلى نهاية التضخم في الجزء الخاص بنا من الأكوان المتعددة.

علاوة على ذلك؛ يتنبأ التضخم الأبدي بأنه سيكون هناك أكوان فقاعية أخرى داخل الأكوان المتعددة، وربما يكون هناك عدد لا يحصى منها، وكلها منفصلة إلى الأبد عن بعضها البعض،

وكلها تبتعد سريعًا عن بعضها البعض بسبب حقل التضخم المتوسع باستمرار.

إن لهذه الفكرة فائدة إضافية جذابة يجدها العديد من علماء الكونيات.

لقد ذكرت من قبل أن الفيزيائيين لا يحبون الضبط الدقيق - أي أنه لا يوجد سبب أساسي لوجود كميات فيزيائية لها قيم معينة -.

يأتي هذا إلى ذروته عندما نعتبر أن معظم الثوابت الأساسية لدينا لها القيم المثالية لكون مثل كوننا.

إذا كانت الجاذبية أضعف قليلاً، فربما لم تتشكل المجرات والنجوم أبدًا، وإذا كانت الشحنة على الإلكترون أقوى قليلاً، فإن الذرات ستنهار، ولا يمكن أن توجد المادة بأشكالها المعقدة؛ لذا، فإن نظرية التضخم الأبدي للأكوان المتعددة تجيب على السؤال التالي: لماذا كوننا مضبوط بدقة بحيث يكون مناسبًا لوجود النجوم والكواكب والحياة؟

الجواب هو: أن جميع الأكوان الفقاعية المحتملة يمكن أن توجد، وكلها تخضع لنفس قوانين الفيزياء، ولكن لكل منها مجموعته الخاصة من الثوابت الفيزيائية الأساسية.

لقد صادف أن نكون في واحدة مناسبة تمامًا لكي تظهر فيه الحياة؛ فلنتأمل في مدى حظنا(*).

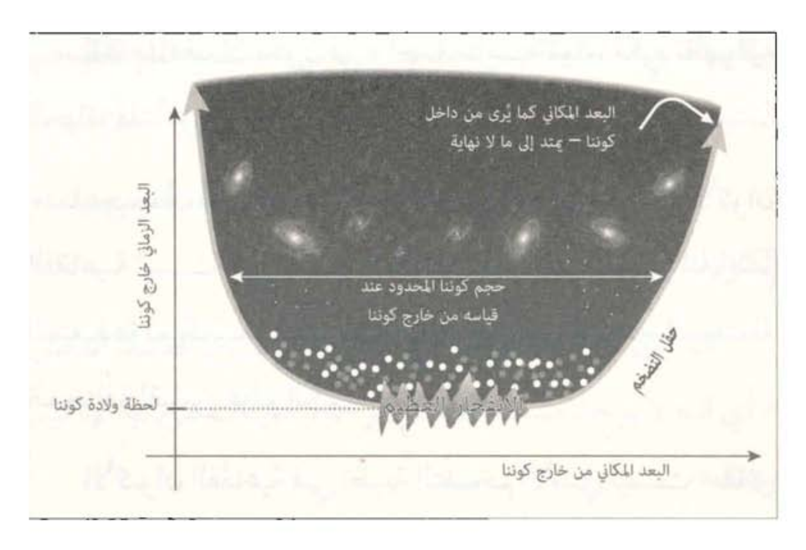
يجب أن أضيف هنا أيضًا لتجنب أي لبس: هذه الأكوان الفقاعية ليست هي نفسها الحقائق الموازية لتفسير العوالم المتعددة لميكانيكا الكم، والتي ترجع إلى النتائج المحتملة المختلفة لقياس عالم الكم.

الأكوان الفقاعية في نظرية التضخم الأبدي ليست حقائق متوازية ومتداخلة، ولكنها مستقلة تمامًا عن بعضها البعض.

وقبل أن أنتقل؛ أود أن أضيف نقطة مهمة أخرى.

قد نتساءل عما إذا كان كوننا غير محدود في المدى - على

(*) تكمن جاذبية هذه الفكرة (عند مشجعيها) بسبب تقديمها تكهنات بديلة لمسألة الضبط الدقيق، فبوجود أكوان لانهائية حتماً سيكون هناك كون بمثل مواصفات كوننا من ضمن هذه الأكوان اللانهائية. فلا يوجد أي دليل أو قرينة تدعم هذه الفكرة، ولكن تتضمن هذه الفكرة تفسيرًا لمسألة الضبط الدقيق؛ بحيث سيكون مجرد صدفة محتملة بسبب تعدد الأكوان اللانهائية. ومن اللامنهجية العلمية أن يأخذ العلم منحى كهذا؛ حيث يحاول فيه المختصون تفسير الواقع المرصود بخلق واقع لا يمكن رصده لمحاولة إيجاد إجابة بديلة لمسألة الضبط الدقيق! (المترجم)



الشكل ٦: كيف يمكن لحجم محدود أن يحتوي الفضاء اللامتناهي؟ – منظوران لكوننا: من «الخارج» دائمًا ما يكون له حجم محدود، ولكن بالنسبة لنا، داخل الزمكان لدينا، فإن محور الفضاء منحني بحيث يكون مشيرا على طول المحور الزمني إلى ما لا نهاية. بالنسبة لنا، يبدو أن كل الأوقات تتزامن لإعطاء مدى مكاني لا نهائي.

الرغم من أننا لا نستطيع رؤية ما وراء أفقنا المرئي –، ويمكن أن يكون كذلك؛ إذن .. كيف يمكن أن تتسع فقاعة محدودة تطفو في الأكوان المتعددة للفضاء اللامتناهي، جنبًا إلى جنب مع الأكوان الفقاعية الأخرى؟

الجواب غريب إلى حد ما: بالنسبة لنا، في الداخل، يمكن أن يكون الكون لانهائي في المدى، لكنه محدود في الزمن.

ومع ذلك؛ هذا لأن لدينا رؤية مشـوهة للمكان والزمان من داخـل فقاعتنـا، لكن إذا نظرنـا إليه من «الخارج»، سـيبدو كوننا محـدود الحجـم، ولكنـه موجـود فـي زمـن لا نهايـة لـه - انظر الشكل ٦-.

إنهـا طريقـة أنيقـة لفهـم كيـف يمكـن أن تتـلاءم المسـاحة اللانهائيـة داخـل حجـم محـدود، ولكنهـا صعبـة مـن الناحيـة التصورية، آسف!

المعلومات

هنـاك موضوع لـم أقـل الكثير عنه، وهو يجمـع بين الأعمدة الثـلاث للفيزيـاء الأساسـية - ميكانيـكا الكـم والنسـبية العامـة والديناميكا الحرارية - يتضمن الدور الذي تلعبه المعلومات في الفيزياء.

مـن المفهـوم الآن أن المعلومـات هي أكثر مـن مجرد فكرة مجردة ويمكن في الواقع قياسها بدقة.

كان اللغز الذي طال أمده، والذي أبرزه ستيفن هوكينغ لأول مرة، هو ماذا يحدث للمعلومات.

على سبيل المثال: هذا الكتاب الذي تقرؤه، إذا كنت سترميه

في ثقب أسـود، سـتفقد الكتـاب بالطبع إلى الأبـد، لكن ماذا عن المعلومـات التـي يحتويهـا؟ أعنـي بذلـك المعلومـات الماديـة المشـفرة في كلمـات الكتاب والتي سـتكون مطلوبـة لإعادة بناء الكلمات[*].

كمـا تـرى؛ تخبرنـا ميكانيكا الكـم أن المعلومـات لا يمكن تدميرها ويجب الحفاظ عليها دائمًا[١].

وصـف هوكينـغ كيف تتبخر الثقوب السـوداء ببـطء، وتفقد طاقتهـا فيما يعرف بإشـعاع هوكينغ، وتخبرنـا ميكانيكا الكم، من حيث المبدأ، أن هذا الإشعاع يحمل في داخله جميع المعلومات

(*) كل جسـم (كتـاب، أو أي شـيء آخـر) يحتوي على معلومـات، وهذه المعلومات تتمثل بترتيب معين للذرات المكونه لهذا الجسم، فالسؤال في هذه الحالة: أين تذهب هذه المعلومات التي تصف ترتيب الذرات للكتاب. ماذا يحدث لها في الثقب الأسود؟ ويعتقد ستيفن هوكينغ أن معلومات هذه الأجسام تُفقد في الثقب الأسود، وتتحول كتلتها بشكل كامل إلى طاقة.

(١) يحـدث هـذا؛ لأنه وفقًا لميكانيكا الكم، يمكـن عكس الوقت؛ لذلك، تمامًا كما تحدد الحالة الكمية الآن بشكل فريد حالة مستقبلية، كذلك يجب أن تحدد الحالة الكمومية المستقبلية بشكل فريد حالة سابقة في الماضـي. لكـن هذا لن يكون ممكنا إذا تم إتـلاف المعلومات الواردة في هذه الحالة.

التـي ابتلعهـا الثقب الأسـود، بمـا في ذلـك المعلومـات اللازمة لإعادة بناء هذا الكتاب.

هل نعرف هذا بالتأكيد؟

مرة أخرى؛ فقط النظرية النهائية للجاذبية الكمومية هي التي ستعطينا جوابًا لهذه المسألة.

أدت دراسة رياضيات الثقوب السوداء أيضًا إلى اكتشاف أن الحـد الأقصى من المعلومات التي يمكـن تخزينها في حجم من الفضاء تتناسب، ليس مع حجم الفضاء كما هو متوقع، ولكن مع مساحة السطح المحيطة بهذا الحجم.

أصبحـت هـذه الفكرة معروفـة باسـم المبـدأ الهولوغرافي، وثبت أنها أداة قوية في الفيزياء النظرية.

إنها تأتي في الصميم بسـبب العلاقة العميقة بين المعلومات والطاقة.

من خلال تخزين المزيد والمزيد من المعلومات في مساحة كبيرة، فإنك تزيد من طاقتها.

وبما أن الطاقة تعادل الكتلة، فهذا يعني تعزيز حقل جاذبيتها، لدرجة أن حجم الفضاء سينهار في ثقب أسود.

ينص المبدأ الهولوغرافي على أنه سيتم الآن ترميز جميع المعلومات في أفق الحدث للثقب الأسود.

يُعتقد أن هذه الفكرة تنطبق حتى على المعلومات اللازمة لوصف الكون بأكمله.

من المرجح أن يصبح دور المعلومات مهمًا بشكل متزايد في ربط الأعمدة الثلاث للفيزياء.

ER = EPR

في عام ٢٠١٣ اقترح اثنان من علماء الفيزياء البارزين، هما: خوان مالداسينا وليونارد سسكيند، فكرة قد توفر طريقًا جديدًا نحو توحيد الجاذبية وميكانيكا الكم.

في حين أنه من السابق لأوانه الحكم على ما إذا كانوا على حق؛ فإنه من الرائع أيضًا بالنسبة لي عدم ذكر ذلك بشكل عابر.

يُعرف اقتراحهم ببساطة باسم ER = EPR، وهو يشير إلى أنه قد يكون هناك رابط كبير وعميق بين التشابك الكمي - جسيمان متصلان عبر الفضاء - والثقوب الدودية في الزمكان، لكن لاحظ أن «ER = EPR» ليست معادلة جبرية، على الرغم من علامة «يساوي» - وإلا فقد ترغب في إلغاء E و R من كلا الجانبين، مع ترك P = 1 فقط، وهو أمر لا معنى له -.

في الحقيقة؛ إنها تشير إلى الأحرف الأولى من المؤلفين - آينشتاين، وبودولسكي، وروزن - لورقتين كلاسيكيتين تم نشرهما بفارق بضعة اسابيع في عام ١٩٣٥.

كان يُعتقد حتى الآن أن هاتين الورقتين غير مرتبطتين تمامًا.

يشير مصطلح «ER» إلى آينشتاين وناثان روزن، اللذين اقترحا أن ثقبين أسودين قد يكونان مرتبطين بنفق خارج أبعادنا المعهودة، وهي فكرة تنبثق من رياضيات النسبية العامة.

يشير مصطلح «EPR» إلى الورقة الثانية التي نشرها الاثنان مع بوريس بودولسكي، والتي حددوا فيها مخاوفهم بشأن فكرة التشابك في ميكانيكا الكم - وهو ما أشار إليه آينشتاين باسم «الاتصالات المخيفة» -.

الاقتراح الجديد لمالداسينا وسسكيند هو أن هذه الأفكار العميقة، الثقوب الدودية والتشابك، قد تكون في الواقع ظاهرة واحدة(*).

(*) يقترح لمالداسينا وسسكيند أن ميكانيكا الكم والنسبية يلتقيان في هذه الظاهرة؛ حيث يتم التواصل بين الجسيمات الذرية من خلال الثقوب الدودية، وهذا يفسر كيف تبقى الجسيمات الذرية على أتصال دائم في حالة تشابك كمي؛ حيث في المستوى الذري حين تتكون الجسيمات ومن ثم تنفصل تبقى على اتصال عبر هذه الثقوب الدودية التي =

سيحدد الوقت ما إذا كانوا على المسار الصحيح.

أزمة في الفيزياء؟

هـل سـنصل في نهايـة المطـاف لفهم كامـل للواقـع، أم أننا سنقوم إلى الأبد بتقشير طبقات البصل للكشف عن حقائق أعمق تحتها؟

بكل تأكيد هذا هو الواقع حتى الآن.

أولاً: اكتشـفنا أن كل شـيء مصنوع من الذرات، ثم أن هذه الـذرات هي نفسـها مكونة من أجـزاء أصغـر - إلكترونات تدور حول نواة كثيفة -.

لاحقًـا: نظرنـا إلـى النـواة نفسـها لاكتشـاف أنهـا مكونة من لبنـات بنـاء أصغـر: البروتونـات والنيوترونـات، والتـي بدورهـا تتكـون من كواركات أصغر حجمًا، والتي هي في حد ذاتها تعتبر مظاهر لحقول الطاقة - أو ربما إذا تعمقنا أكثر سنجد أوتارًا تهتز في أبعاد عليا -.

هل سنصل يوما ما إلى النهاية؟

= تكونـت معها؛ حيـث تعمل هذه الثقوب الدوديـة كحلقة وصل خارج الأبعاد المكانية والزمانية لفضائنا. (المترجم)

بعض الفيزيائيين النظريين المنبهرين بجمال معادلاتهم، قد حرثوا أكثر فيها للوصول لافتراض مفاهيم أكثر غرابة من أي وقت مضى، والتي أصبح من الصعب بشكل متزايد اختبارها تجريبياً؛ وبالتالي أصبح الحكم عليها فقط من ناحية قوتها التفسيرية وأناقتها الرياضية - معايير مهمة، أتفق مع ذلك، ولكن ليس من ناحية المعايير التقليدية للتحقق من صحة النظريات العلمية -؛ لذا، بدلاً من أن نربت على ظهور بعضنا البعض لما وصلنا إليه من مدى، هل يجب أن نفكر في احتمال أننا قد نبتعد كثيرًا عن مسار الفيزياء؟

لا شك أن العديد من الفيزيائيين يجادلون في أن السنوات القليلة الماضية كانت مثيرة للغاية للفيزياء الأساسية، مع الأخذ في الاعتبار الاكتشافات التي تم رصدها على نطاق واسع لبوزون هيغز في مصادم الهادرون الكبير في عام ٢٠١٢، تليها موجات الجاذبية في LIGO - مقياس التداخل الليزري لرصد موجات الجاذبية - في الولايات المتحدة في عام ٢٠١٦، ولكن الحقيقة هي أن كل هذه الاكتشافات الرصدية على الرغم من أهميتها تؤكد «فقط» التنبؤات التي قدمها المنظرون منذ زمن بعيد - خمسين عامًا في حالة Higgs، و قرن كامل لموجات الجاذبية -.

أعلـم أن هـذا يبدو أكثر من مجرد اعتراض بسـيط، ولا أريد التقليـل مـن شـأن الإنجـازات غيـر العاديـة لآلاف الفيزيائييـن والمهندسـين التجريبييـن الذين لعبوا دورًا في هذين الاكتشـافين البارزين، لكن عندما أقول «فقط»، أعني: أنه لـم يكن هناك الكثير مـن الفيزيائيين الذين لـم يتوقعـوا أن تتم هذه التأكيدات التجريبية يومًا ما.

فـي حالـة هيغز، على الرغم من أن الاكتشـاف أدى إلى منح جائـزة نوبل فـي الفيزياء في العام التالي من اكتشـافه، فقد ذهبت الجائزة إلى المنظرين الذين توقعوا ذلك مرة أخرى في الستينيات، وليس إلى التجريبيين الذين أجروا الملاحظة المؤكدة.

أعتقد أنني يجب أن أوضح تمييزًا أكثر دقة هنا بين اكتشـاف بوزون هيغز واكتشاف موجات الجاذبية.

الأول لـم يكن بأي حال من الأحوال نتيجة مفروضة؛ شكك العديـد مـن الفيزيائيين، بما في ذلك سـتيفن هوكينـغ، في وجود جسيمات بوزون هيغز قبل عام ٢٠١٢.

وعلـى النقيـض من ذلـك؛ كانت موجـات الجاذبيـة متوقعة تمامًا، حيث لـم يتم التنبؤ بها من خلال النسبية العامة فحسب، بل تمت ملاحظتها بشـكل غير مباشر منذ سـنوات عديدة في سلوك

النجوم النابضة الثنائية - أزواج من النجوم النيوترونية تدور حول بعضها البعض -.

في الواقع؛ إذا نظرت إلى الوراء على مدى العقود الثلاثة الماضية، وفكرت في بعض الاختراقات والاكتشافات المثيرة في الفيزياء الأساسية، مثل: الكوارك القمي، ومكثفات بوز- آينشتاين، والتشابك الكمي، واندماجات النجوم النيوترونية، والكواكب خارج المجموعة الشمسية، يمكنني أن أجادل بأن أياً من هذه لم يكن غير متوقع تماما في الواقع، كان اكتشافًا واحدًا فقط في الفيزياء خلال هذه الفترة ثوريًا ومدهشًا حقًا - لعلماء الفلك الذين رأوه لأول مرة، إن لم يكن جميع علماء الكونيات-، وهو اكتشاف الطاقة المظلمة في عام ١٩٩٨، وإلا، عندما يتعلق الأمر باختبار نظرياتنا ونماذجنا في أقصى درجات الفيزياء الأساسية - المقاييس الكمومية والكونية - كان هناك صمت تجريبي.

قد يتبين أن العديد من الأفكار والنظريات التأملية التي ناقشتها في هذا الفصل صحيحة، ولكن تجدر الإشارة إلى أن الأنواع التقليدية من التجارب التي عملت على التحقق من صحة النظريات العلمية أو خطئها في الماضي من غير المرجح أن

تساعدنا في المستقبل للتحقق من النظريات والوصول إلى مستوى كافٍ من الثقة في صحتها.

عندما بدأ تشغيل مصادم الهادرونات الكبير لأول مرة في عام ٢٠١٠، كان حينها الأحدث في سلسلة طويلة من تطوير مسرعات الجسيمات حول العالم، منذ ما يقرب من قرن من الزمان، والتي كانت تعمل على تحطيم المادة دون الذرية بالتصادم بطاقة أعلى، وكانت هذه الطاقات تزداد مع تقدم التقنية.

لقد انتظر الفيزيائيون وقتًا طويلاً للحصول على مصادم الهايدرونات الكبير وكان لديهم آمال كبيرة في أن يساعدهم في الإجابة على عدد من الأسئلة المعلقة وإزالة الشكوك عن النموذج المعياري، ولكن قبل كل شيء؛ تم وصفه بأنه المُسرِّع الذي سيجد بوزون هيغز، وقد حقق - بالتأكيد - نجاحًا باهرًا ومبررًا للتكلفة الضخمة للمشروع، ولكن منذ ذلك الحين، كان هناك إحباط متزايد بسبب عدم اكتشاف أي شيء آخر، سواء من العلماء في التخصصات الأخرى الذين يشعرون بالحسد على التمويل الذي تتلقاه سِرًّا - المنظمة الأوربية للأبحاث النووية -، ومن علماء الفيزياء النظرية الذين نفد صبرهم في انتظار تأكيد توقعاتهم الأخيرة.

وماذا عن اكتشاف هيغز؟ ما هي الرؤى الجديدة التي قدمها لنا حول طبيعة المادة؟

تجدر الإشارة إلى أن بوزون هيغز هو مجرد مظهر جسيمي - إثارة - لحقل هيغز الأكثر أساسية، وهو حقل كمي آخر يتخلل كل الفضاء ومكون مهم في النموذج المعياري؛ لأن الطريقة التي تتحرك بها الجسيمات الأخرى عبر حقل هيغز هي ما يعطيها كتلتها.

على سبيل المثال: البوزونات W و Z، حاملة القوة الضعيفة، لن يكون لها كتلة بدون الحقل، وستكون أقرب إلى قريباتها الفوتونات عديمة الكتلة، لكن W و Z لهما كتلة، وآلية هيغز هي التي تشرح كيفية اكتساب الكتلة من خلال تفاعلهما مع حقل هيغز بطريقة لا يمتلكها الفوتون.

تم العثور على الدليل النهائي لوجود حقل هيغز ليس عن طريق الكشف عنه بشكل مباشر، ولكن بشكل غير مباشر، من خلال إنشاء الحقول الكمية سريعة الزوال: بوزون هيغز.

كان العثور على هيغز إنجازًا رائعًا، لكن في الحقيقة كان من ضمن قائمة الأشياء التي تم تحقيقها، مما ثبت حقل هيغز على النموذج المعياري، الذي عاش ليقاتل إلى يوم آخر.

لم يفتح اكتشاف هيغز العديد من الآفاق الجديدة في أبحاث الفيزياء الأساسية؛ لأنه لم يأخذ بفهمنا لما يتجاوز ما يعرفه الفيزيائيون ويتوقعونه.

يظل النموذج المعياري إطارًا ثابتًا لفهمنا للبنات بناء المادة، ولكنه ليس نظرية متماسكة أو نظرية تنبؤية موحدة.

بالطبع؛ لا يزال هناك الكثير من البيانات التي يجب فحصها من مصادم الهايدرونات الكبير الناتجة من أحدث تجاربه، والتي انتهت في ديسمبر ٢٠١٨؛ لذلك قد نجد شيئًا جديدًا بمجرد تحليل جميع البيانات، ولكن تظل الحقيقة أنه لا يزال هناك عدد من الأسئلة المعلقة بدون إجابات، وقد يتعين علينا النظر إلى ما وراء مصادم الهايدرونات الكبير لإيجاد الأجوبة.

تتضمن هذه الأسئلة: لماذا الجاذبية أضعف بكثير من القوى الأخرى؟ لماذا يوجد ثلاثة أجيال فقط من الكواركات واللبتونات؟ ومن أين تأتي كتلة هيغز؟

ربما الأكثر إلحاحًا من كل ذلك، وبالتالي الأكثر إحباطًا؛ لأنه لم يتم العثور على إجابة له، هو ما إذا كنا سنجد أي دليل على التناظر الفائق.

إن مجرد رغبتنا في أن يكون التناظر الفائق صحيحًا لا يجعل شعورنا صحيحًا.

بكل تأكيد؛ التناظر الفائق يحل العديد من المشكلات ويوفر رؤى مفيدة، كما أنه أنيق ومنطقي وممتع من الناحية الجمالية، ولكن كلما طالت مدة البحث عن أي دليل تجريبي على التناظر الفائق، زاد إحباطنا.

في الوقت نفسه؛ يتذمر منتقدو نظرية الأوتار الفائقة من أن المجال لا يزال جذابًا لألمع العقول لأنه يوفر فرص عمل.

يشعر الباحثون الشباب بمزيد من الأمان عند اتباع خطى أساتذتهم ويخشون أنهم إن لم يفعلوا ذلك، فسوف يخسرون التمويل والتقدم الوظيفي.

وفي الوقت نفسه؛ فإن أقسام الفيزياء الجامعية التي تتنافس على الموارد المادية النادرة، ترى البحث في نظرية الأوتار على أنها طريقة غير مكلفة للعمل تضعهم في طليعة التخصص كفزيائيين، ولكن طالما ظل التقدم بطيئًا، مع عدم ظهور دليل تجريبي جديد لدعم جهود أولئك الموجودين في هذا المجال، فإن الأصوات المعارضة لهذه النظرية سترتفع بشكل أكبر.

قد يجادل البعض بأنه إذا كان التناظر الفائق صحيحًا، فمن المحتمل أن نكون قد وجدنا دليلاً على ذلك الآن في مصادم الهايدرونات الكبير.

يبدو أن أبسط فئة من نماذج التناظر الفائق - ما يسمى بالحد الأدنى من التناظر الفائق المقيد - يبدو غير مرجح بالفعل، لكن هذا لا يعني أننا سنتخلى عنها تمامًا الآن - ربما هي موجودة ولكننا نبحث عنها في المكان الخطأ -.

بعد كل شيء؛ هي ليست فقط من ضمن قوائم أمنيات أصحاب نظرية الأوتار، فهناك المزيد من علماء فيزياء الجسيمات «الواقعيين» أيضًا يريدون معرفة ما إذا كانت الطبيعة فائقة التناظر.

يسمح لنا التناظر الفائق بفهم العلاقة بين القوة الكهروضعيفة والقوة النووية القوية التي تصفها نظرية الديناميكا اللونية الكمومية، كما أنها تربط بين جزيئات المادة وجزيئات القوة الحاملة، حتى أنها تفسر سبب امتلاك بوزون هيغز للكتلة التي يمتلكها، لكن حل كل هذه المشكلات له ثمن: فالتناظر الفائق يتنبأ بوجود مجموعة كاملة من الجسيمات الجديدة التي لم يتم اكتشافها بعد.

يجب أن أقول بالطبع إن هناك مكافأة إضافية لطيفة إذا كان التَناظر الفائق صحيحًا: أخف هذه الجسيمات فائقة التناسق التي لم تتم ملاحظتها بعد، تتناسب مع كونها مكوناً للمادة المظلمة.

لم يكن علماء الفيزياء النظرية ينتظرون الأخبار من زملائهم التجريبيين فحسب، ولم يكونوا أسرى مذهولين لروعة رياضياتهم، ولم يتركوا زملاءهم التجريبيين ليواصلوا المضي قدمًا بدونهم، لم يكد يُقترح أحدث نسخة من نظرية الأوتار - نظرية M، نظرية كل شيء - في منتصف التسعينيات من قبل إدوارد ويتن حتى تم تطوير فكرة جديدة قوية بواسطة خوان مالداسينا في عام ١٩٩٧ تُعرف باسم مقياس/ ازدواجية الجاذبية - أو ما يعرف بنظرية الحقل الامتثالي أو لإعطائها اسمها التقني، AdS / CFT8 -، وتصف كيف ترتبط الأوتار في نظرية الأوتار بنظريات الحقول التي تصف القوى الكمومية الثلاث.

تم تطوير هذه الفكرة الرياضية منذ ذلك الحين بشكل أكثر عمومية لمعالجة المشكلات في مجالات أخرى من الفيزياء النظرية، مثل: الديناميكا المائية، وبلازما كوارك-غلوون، والمادة المكثفة، وأصبحت ورقة مالداسينا واحدة من أهم الأعمال في الفيزياء النظرية الحديثة، بعد أن تم الاستشهاد بها أكثر من ١٧٠٠٠ مرة في أوراق أخرى راجعها النظراء حتى الآن.

الأفكار القوية مثل مقياس/ ازدواجية الجاذبية تقنع العديد

مـن الفيزيائيين بأن نظرية الأوتار هـي الطريق الصحيح للمتابعة، ولكن حتى لو تبين أنها ليست النظرية الصحيحة للجاذبية الكمية، فـإن مـا قامت به هـو تزويـد الفيزيائيين بصنـدوق أدوات رياضي مفيـد ودقيـق أظهـر لنـا علـى الأقـل أن هنـاك طريقة للجمـع بين ميكانيكا الكم والنسـبية العامة بشـكل متسـق، وهذا يعطينا الأمل فـي أن مشـروع التوحيـد ممكن من حيـث المبدأ، لكـن الحقيقة ستبقى أنه لمجرد أن نظرية الأوتار أو مقياس/ ازدواجية الجاذبية جميلة رياضياً، فإن هذا لا يجعلها صحيحة.

من أين ستأتي الإجابة النهائية إذن؟

ربمـا مـن نظريـة الأوتار، ربما من دراسـة الثقوب السـوداء، ربمـا من أولئك الذين يعملون على نظريـة المعلومات الكمومية فـي محاولة لبناء حواسـيب كمية، أو ربما حتى مـن نظرية المادة المكثفة.

أصبـح من الواضح أن أشـكالًا مماثلة من الرياضيات تنطبق في جميع هذه المجالات.

فـي البحث عـن نظريـة صحيحة للجاذبيـة الكمية فـي نهاية المَطاف قد لا نحتاج حتى إلى تكميم الجاذبية.

ربمـا تكـون محاولـة فـرض نظرية الحقـل الكمي والنسـبية العامة تجاه بعضهما البعض نهجًا خاطئًا.

هناك بعض الأدلة على أن نظريات الحقل الكمومي قد تحتوي بالفعل داخلها على جوهر الزمكان المنحني، وأن النسبية العامة قد تكون أقرب إلى ميكانيكا الكم مما كنا نظن.

سيكون من الرائع معرفة أي من الأفكار والنظريات العديدة الواردة في هذا الفصل سيتضح أنها صحيحة وأيها ستنقل إلى كومة المهملات من العلم الخاطئ.

بالنسبة لي شخصيًا؛ فإن أكبر سؤال في الفيزياء لم يجب عليه هو السؤال الذي أزعجني طوال حياتي المهنية: ما هو التفسير الصحيح لميكانيكا الكم؟

في الفصل الخامس؛ تطرقت إلى عدد قليل من الأفكار المرشحة، وذكرت أنه بالنسبة للعديد من الفيزيائيين هذه مشكلة يجب على الفلاسفة معالجتها؛ لأنها لم توقف تطبيقات ميكانيكا الكم أو تبطئ من تقدم الفيزياء، لكن عددًا متزايدًا من الفيزيائيين، بمن فيهم أنا، يرون أساسيات ميكانيكا الكم باعتبارها مجالًا مهمًا للغاية، ويشتبهون في أن حل مشكلة تفسيراتها التي طال أمدها سيؤدي في النهاية إلى فيزياء جديدة، حتى أنه قد يكون مرتبطًا بواحدة أو أكثر من المشكلات البارزة الأخرى في الفيزياء الأساسية، مثل: طبيعة الوقت أو النظرية النهائية للجاذبية الكمومية.

تبدو هذه المشكلات أحيانًا صعبة للغاية بحيث لن يفاجئني إذا انتهى بنا الأمر إلى احتياجنا إلى ذكاء اصطناعي متقدم لمساعدتنا.

ربما يظهر ذكاء اصطناعي من اختراعنا باعتباره نيوتن أو آينشتاين التالي، وقد يتعين علينا قبول أن أدمغتنا البشرية الضعيفة ليست ذكية بما يكفي لمعرفة الطبيعة النهائية للواقع بمفردنا[١].

لقد ركزت في هذا الفصل على مستقبل الفيزياء، خاصة فيما يتعلق بالفيزياء والفيزياء الرياضية في أقصى المقاييس من الأصغر إلى الأكبر، لكن هل هذا عادل؟ هل لهذه الحدود الحقيقية للفيزياء ما يبررها؟

إن التقدم في الفيزياء لا يتعلق فقط بالسعي لرؤية أصغر أو أبعد المقاييس؛ فالمقاييس اليومية من حيث الحجم والطاقة ليست أقل إثارة.

في الواقع؛ فيما يتعلق بكيفية تغيير الفيزياء لحياتنا في القرن الحادي والعشرين، فإن الإثارة الحقيقية تكمن في مجالات مثل: فيزِياء المادة المكثفة والبصريات الكمية، وفي المجالات التي تتداخل فيها الفيزياء وتندمج مع الكيمياء والبيولوجيا والهندسة؛

---

(١) ربما يخبرنا بالفعل، أن هذه هي الإجابة، ٤٢.

لذا، بدلاً من الخوض في بعض هذه الموضوعات هنا، سأستخدمها كأمثلة لكيفية تشكيل التطبيقات التكنولوجية للفيزياء لعالمنا وسأستعرضها معكم، كما قد يقول البعض، جوانب أكثر «فائدة» للفيزياء في الفصل التالي.

الفصل التاسع
فائدة الفيزياء

أينما كنت الآن وأنت تقرأ هذا الكتاب؛ انظر حولك.

الكثير مما أنشأناه وبنيناه لم يكن ممكنًا إلا بفضل فهمنا لقوانين الطبيعة: القوى التي تشكل عالمنا وخصائص المادة التي تعمل عليها هذه القوى؛ لذلك سيكون من المستحيل سرد جميع تطبيقات الفيزياء - كل مظاهر عالمنا الحديث التي ظهرت من الاكتشافات التي قام بها علماء الفيزياء على مر القرون[1]-؛ لذلك سأركز بدلاً من ذلك على موضوعين:

الأول: هو الطريقة التي دعمت بها الفيزياء أو تداخلت أو اندمجت مع علوم أخرى[*]، سواء كانت الفيزياء البحتة أو

(١) بالطبع، أنا لا أدعي أن هذه المعرفة والفهم نشأت حصريًا بسبب عمل علماء الفيزياء، حيث يمكنني تقديم ادعاء مماثل إذا كنت أكتب عن الكيمياء، أو الهندسة، أو الرياضيات.

(*) تداخلت الفيزياء مع جميع العلوم الطبيعية، وحتى مع العلوم الإنسانية والاجتماعية. (المترجم)

التطبيقية، والدور الذي لا تزال تلعبه في عدد من مجالات البحث الجديدة المثيرة متعددة التخصصات.

والثاني: هو نظرة موجزة على مجموعة مختارة من التطبيقات الجديدة التي ستنشأ بلا شك من أبحاث الفيزياء الحالية، مع التركيز بشكل خاص على الآفاق المحتملة والمثيرة لتقنيات فيزياء الكم الجديدة.

بعد الوصول إلى هذا الحد من هذا الكتاب، سوف يُغفر لك التفكير في أن هوس الفيزيائيين بتوحيد المبادئ الرياضية التي تحكم طريقة عمل الطبيعة هو أمر جيد جدًا - وهو دليل على الدافع الجاد للبشرية لفهم الكون - ولكن ماذا في ذلك؟ ما هي الفائدة؟

بالتأكيد؛ قد تعتقد أن اكتشاف بوزون هيغز لن يكون له أي نوع من التأثير المباشر على حياتنا اليومية، ولن تساعد نظرية الجاذبية الكمية المأمولة في القضاء على الفقر والمرض، لكن هذه ليست الطريقة الصحيحة للنظر إلى الأشياء.

أدى العلم الأساسي الذي يحركه الفضول، مرارًا وتكرارًا، إلى التطورات التكنولوجية التي أحدثت ثورة في عالمنا.

معظم الباحثين في الفيزياء، لا سيما أولئك الذين يعملون

في الأوساط الأكاديمية، لا يحركهم عادةً الحماس للتطبيقات المحتملة لأبحاثهم، وإذا نظرت إلى الوراء إلى الاكتشافات العظيمة في العلوم والتي أثبتت لاحقًا أنها ذات فائدة عملية، ستجد أن العديد منها قد تم صنعه من رغبة ملحة في فهم العالم وإرضاء فضول العلماء.

تأمل في مقارنة سطحية بين الفيزياء والهندسة.

سيدرس طالب الهندسة الميكانيكية أو الكهربائية العديد من نفس الموضوعات التي يدرسها طالب الفيزياء، مثل: ميكانيكا نيوتن، والكهرومغناطيسية، والحوسبة، والتقنيات الرياضية المطلوبة لحل أنواع معينة من المعادلات التي تظهر بشكل منتظم.

في الواقع؛ ينتهي الأمر بالعديد من الفيزيائيين التطبيقيين إلى العمل في الصناعات الهندسية، مما يزيد من ضبابية الحدود بين التخصصين، ولكن، عادةً ما يسأل الفيزيائي سؤالا «لماذا؟» و «كيف؟»

من أجل الكشف عن المبادئ الأساسية التي تحكم أعمال الطبيعة، في حين أن المهندس لا يكون مدفوعًا عادةً بهذه المبادئ العميقة، وبالأحرى سيضع تفكيره أو فهمه للتطبيق لاستخدامه لبناء عالم أفضل.

يعمل الفيزيائيون والمهندسون على حد سواء على حل المشكلات، لكن لديهم دوافع مختلفة للبحث عن الحلول.

لتقديم مثال محدد فقط؛ فإن النجاح الهندسي الرائع لأنظمة الملاحة عبر الأقمار الصناعية - كان نظام تحديد المواقع الأمريكي العالمي (جي بي إس) هو الأهم على مدى العقود القليلة الماضية - يبين بوضوح قيمة أبحاث الفيزياء البحتة التي تدعم الهندسة.

أصبحت أنظمة تحديد المواقع الآن جزءًا لا يتجزأ من حياتنا لدرجة أننا لا نستطيع العيش بدونها.

لا نأخذ فقط حقيقة أننا لم نعد نضيع في أجزاء غير مألوفة من العالم، ولكن نظام تحديد المواقع العالمي (جي بي إس) سمح لنا برؤية كوكبنا من الأعلى ورسم خريطة له بتفاصيل رائعة، مما يمكننا من دراسة الطريقة التي يتغير بها مناخ الأرض، أو التنبؤ بالظواهر الطبيعية والمساعدة في الإغاثة في حالات الكوارث.

في المستقبل؛ سترتبط الأقمار الصناعية لتحديد المواقع العالمية بأنظمة الذكاء الاصطناعي لتطوير المواصلات والزراعة والعديد من الصناعات الأخرى.

ومـع ذلك؛ بـدون المعرفة التـي جاءت من أبحـاث الفيزياء الأساسـية، لـم يكن نظـام تحديد المواقع العالمـي (جي بي إس) ممكنًا.

علـى سـبيل المثـال: السـاعات الذرية الموجـودة على متن الأقمار الصناعية، والتي تعد ضرورية لضمان قدرتنا على تحديد مواقـع الأقمـار الصناعيـة(*) بدقـة من أجـل تحديـد موقعنا على

(*) يحتـاج جهـاز الجوال الذي بيدك لأربعة أقمـار صناعية لتحديد موقعه علـى الخريطة، قمر صناعي لتصحيـح التزامن (الوقت)، وثلاثة أقمار صناعيـة لتحديـد موقعك بدقة، حيث من خلال تقاطعات هذه الأقمار الصناعية لمكان الإشـارة الصادرة من جهازك تتمكن هذه الأقمار من حساب موقعك بدقة تصل إلى عدة أمتار. يرسل جهازك موقعه للقمر الصناعي الأول وكذلك وقت إرسـال الإشـارة، يقـوم القمر الصناعي بحسـاب الفترة الزمنية من إرسـال الإشـارة إلى وصولها ويضربها في سـرعة الضوء (سـرعة انتقال الإشارة) ليحدد المسـافة بينه وبين موقع جهـازك. الآن تخيـل لو أن فارق التوقيت يتغير بمقدار جزء من الألف من الثانية، فإن مقدار الخطأ في تحديد الموقع سـيكون ٣٠٠ كيلومتر (كأن يخبـرك الجهـاز أن موقعك في الرياض وأنـت في الدمام). ومن هنا تتضح قيمة الدقة في التوقيت باسـتخدام السـاعات الذرية ووضع نظرية آينشـتاين النسـبية في الحسـبان عند حسـاب الفرق فـي الوقت. (المترجم)

الأرض؛ تعمل فقط لأن المهندسين اضطروا إلى أخذ الطبيعة الكمية للاهتزازات الذرية في الاعتبار، جنبًا إلى جنب مع النظرية النسبية، لتصحيح معدل تدفق الوقت التي أوضحتها نظريات آينشتاين.

هناك عدد لا يحصى من الأمثلة التكنولوجية الأخرى للفيزياء والهندسة المتداخلة بطرق غيرت العالم.

والمهندسون ليسوا الوحيدين الذين تربطهم علاقة عمل وثيقة بعلماء الفيزياء منذ فترة طويلة.

اليوم؛ يعمل العديد من علماء الفيزياء جنبًا إلى جنب مع علماء من مجموعة واسعة من التخصصات، مثل: الطب وعلم الأعصاب وعلوم الحاسوب والهندسة الحيوية والجيولوجيا وعلوم البيئة وعلوم الفضاء.

سوف تجد أيضًا علماء فيزياء يطبقون مهاراتهم المنطقية والعددية وحل المشكلات خارج العلوم الطبيعية في مهن تتراوح من السياسة إلى الاقتصاد.

حيث تلتقي الفيزياء بالكيمياء والأحياء

طوال تاريخ العلم، كان هناك دائمًا تداخل قوي بين الفيزياء وأختها الكيمياء.

في الواقع؛ فإن أحد أعظم العلماء في كل العصور، وأبرزهم: مايكل فاراداي، قد تم تصنيفه ككيميائي من قبل الكيميائيين وكفيزيائي من قبل الفيزيائيين.

ولا تلعب الفيزياء دورًا مهماً فقط في الكيمياء، بل إنها كذلك في علم الأحياء، وعلى وجه الخصوص كان للفيزياء تاريخ رائع في هذا المجال.

إن مجتمع الفيزيائيين المهتمين بالمشاكل الحيوية متنوع بشكل لا يصدق، وقد أدى عملهم إلى مجال أبحاث متقد للغاية، يسمى الفيزياء الحيوية، لكن هل الفيزياء الحيوية فرع من فروع الفيزياء، أم أنها ليست أكثر من تطبيق الطرق الفيزيائية لحل مشاكل الأحياء؟ هل هذا التمييز مهم أصلاً؟

إذا كانت الفيزياء هي الأساس في نهاية المطاف للكيمياء والعمليات الكيميائية، والظواهر داخل الكائنات الحية ليست أكثر من كيمياء معقدة، فمن المؤكد إذن أن الفيزياء يجب أن تكمن في قلب علم الأحياء.

أخيراً؛ فإن كل شيء حيًا كان أو غير حي، يتكون في النهاية من ذرات ويخضع لقوانين الفيزياء.

في محاولة لاستكشاف وتحديد المبادئ الأساسية التي

تحكم طريقة عمل علم الأحياء، كما هو معتاد، يسأل الفيزيائيون: «ما الذي يميز الحياة عن غير الحياة لأشياء صنعت من نفس المكونات؟»

الإجابة متجذرة في الفيزياء: الحياة لديها القدرة على الحفاظ على نظامها في حالة من الانخفاض للانتروبيا، بعيدًا عن التوازن الحراري، وقادر على تخزين المعلومات ومعالجتها؛ لذلك، يشعر المرء أن الفهم الكامل لخصوصية الحياة يجب أن يأتي من جوهر الفيزياء.

بكتابة ما سبق؛ يمكنني أن أتخيل زملائي في الكيمياء والبيولوجيا يقلبون أعينهم بسخط من إحساس هذا الفيزيائي النموذجي بأهمية الذات.

من ناحية أخرى؛ من الصحيح أن العديد من التطورات المبكرة في البيولوجيا الجزيئية وعلم الوراثة في القرن العشرين قام بها فيزيائيون، مثل: ليو زيلارد وماكس ديلبروك وفرانسيس كريك.

كريك - على وجه الخصوص - الذي اكتشف - مع جيمس واتسون وروزاليند فرانكلين- البنية الحلزونية المزدوجة للحمض النووي، تأثر بشكل كبير بفيزيائي آخر، هو إروين

شـرودنجر، الـذي لا يزال كتابـه الرائع الذي أصـدره عام ١٩٤٤ مؤثراً: «ما هي الحياة؟»(*).

علـى الجانـب التطبيقـي، كان الفيزيائيـون مفتاحًـا لتطويـر العديـد من التقنيات المسـتخدمة لفحص المادة الحية، من حيود الأشـعة السـينية إلى أجهزة التصويـر بالرنين المغناطيسـي، حتى المجهـر المتواضع الـذي بدونه لا يمكن لمختبر أحياء أن يعمل، اخترعـه الفيزيائيـون، بفضل مئات السـنين من البحـث في طبيعة الضوء والطريقة التي تنكسر بها العدسات وتركيزها؛ حيث بلغت ذروة هذه الدراسـات فـي أعمال أنطوني فـان ليفينهوك وروبرت هوك، وكلاهما اسـتخدم المجهر في القرن السـابع عشـر لدراسة الكائنات الحية.

فـي الواقـع؛ إذا نظرت إلى المسـاهمات العديـدة في العلوم التـي قدمهـا هـوك، سـتجد أنـه وفقًـا لتعريف اليـوم، بـكل تأكيد فيزيائي وليس عالم أحياء.

أحـد مجـالات البحـث الجديـدة التـي أصبحـت مهتمًـا بها شـخصيًا علـى مدار العشـرين عامًا الماضية يسـمى علـم الأحياء الكمي.

(*) اسم الكتاب: *What is Life?*

لا ينبغي الخلط بين هذا الموضوع والتعليقات التي أدليت بها سابقًا حول كون كل أشكال الحياة تتكون في النهاية من الذرات، وبالتالي تخضع في بعض المستويات الأساسية لقواعد العالم الكمي مثل كل شيء آخر في الكون.

هذا بالطبع يعتبر أمرا مفروغا منه، لكني أقصد شيئا أبعد من ذلك، يشير علم الأحياء الكمومي إلى الأبحاث الحديثة في الفيزياء النظرية وعلم الأحياء التجريبي والكيمياء الحيوية، والذي يقترح أن بعض الأفكار غير البديهية في ميكانيكا الكم، مثل: النفق الكمومي والتراكب والتشابك، قد تلعب دورًا مهمًا داخل الخلايا الحية.

يبدو أن الملاحظات التجريبية الرئيسية المتعلقة بطريقة عمل الإنزيمات، أو في عملية التمثيل الضوئي، تتطلب تفسيرًا كميًا.

لقد كان هذا بمثابة مفاجأة كبيرة لكثير من العلماء الذين يرفضون تصديق أن مثل هذا السلوك الدقيق والغريب يمكن أن يؤثر على آلية الحياة، وما زال العلماء محتارين في بعض هذه الأفكار، لكن لا تنس أن الحياة قد مرت بما يقارب من أربعة مليارات سنة من التطور للعثور على أي طرق مختصرة من شأنها أن تمنحها أفضلية.

إذا تمكنت ميكانيكا الكم من جعل عملية أو آلية كيميائية حيوية معينة أكثر كفاءة، فإن البيولوجيا التطورية ستستفيد منها.

إنه ليس سحرًا، إنه مجرد... حسنا... فيزياء.

استمرار الثورة الكمومية

في القرن العشرين - وبداية القرن الحادي والعشرين -، لم يكن هناك شك في أن ميكانيكا الكم كان لها تأثير عميق على حياتنا، على الرغم من عملها على نطاقات أصغر بكثير مما يمكن أن تكتشفه حواسنا.

من خلال نجاحها في وصف العالم دون الذري بنجاح كبير، لا تدعم فيزياء الكم فقط الفيزياء والكيمياء، ولكن الإلكترونيات الحديثة أيضًا.

على سبيل المثال: فإن فهم القواعد الكمية التي تشرح كيفية تصرف الإلكترونات في المواد شبه الموصلة، مثل: السيليكون، قد أرسى الأساس لعالمنا التكنولوجي اليوم.

بدون فهم أشباه الموصلات، لم نكن لنطور الترانزستور - الصمام الثلاثي -، ولاحقًا، الرقاقة الإلكترونية الدقيقة والحاسوب.

هـذا الحاسـوب الهائـل المحمـول الـذي نحمله معنـا اليوم - هاتفنـا الذكـي -، والذي بدونه يشـعر الكثير منـا الآن بالضياع التـام، ملـيء بالسـحر الإلكترونـي، الذي لـم يكن أي منـه ممكنًا بدون ميكانيكا الكم.

وينطبق الشـيء نفسـه على العديد من الأجهـزة المألوفة في منازلنا، من أجهزة التلفزيون وأجهزة الألعاب إلى إضاءة الصمام الثنائـي الباعـث للضـوء (LED)، وأجهزة الكشـف عن الدخان، وبالطبع الإنترنت.

في الواقع؛ تعتمد صناعة الاتصالات بأكملها على التطبيقات التكنولوجية لميكانيكا الكم، مثل: الليزر والمضخمات الضوئية، ولا يمكـن لأي مستشـفى فـي العصـر الحديـث أن يعيـش بدون تطبيقـات ميكانيـكا الكـم، مـن: التصويـر بالرنين المغناطيسـي، والماسـحات الضوئيـة، والتصويـر المقطعـي المحوسـب إلـى جراحة الليزر.

والثورة الكمومية بدأت للتو.

نحن على وشك أن نشهد العديد من الأعاجيب التكنولوجية الجديـدة فـي العقـود المقبلة، الناشـئة عـن الأبحـاث الحالية في فيزياء الكم، مثل: المواد الذكية والمواد الطوبولوجية.

خـذ الجرافين، على سـبيل المثال: طبقـات مفردة من ذرات الكربـون مرتبـة فـي شـبكة بلوريـة سداسـية؛ اعتمادًا علـى كيفية تشـكيلها ومعالجتهـا، يعمل الجرافين كعـازل أو موصل أو حتى كأشباه الموصلات.

والأكثر من ذلك، تشير الأبحاث الحديثة إلى أن طبقتين من الجرافين الملتويتين بزاوية معينة بالنسـبة لبعضهما البعض يمكن أن يتصرفا، في ظل ظروف معينة من درجات الحرارة المنخفضة ومجـال كهربائـي ضعيف مطبق، كموصل فائـق، يمكن للتيار أن يتدفـق من خلاله بـدون مقاومة كهربائية علـى الإطلاق - ظاهرة كمومية أخرى -.

هـذه التقنية المعروفة باسـم اللوي الإلكتروني، سـيكون لها - كمـا هـو متوقـع - تطبيقات في مجموعة واسـعة مـن الأجهزة الإلكترونية في المستقبل.

وهناك الكثير؛ حيث يتم حاليًا تطوير جيل جديد من الأجهزة والتقنيات التي ستصبح موجودة في كل مكان في حياتنا - أجهزة يمكنهـا إنشـاء حالات غريبة من المـادة والتعامل معها من خلال الاستفادة من حِيل العالم الكمومي بطرق جديدة-.

سيسـمح لنـا التقـدم في مجـالات مثـل: نظريـة المعلومات

الكمومية والبصريات الكمومية وتقنية النانو بتطوير مجموعة من هذه الأجهزة.

على سبيل المثالك ستتمكن أجهزة قياس الجاذبية الكمومية عالية الدقة من رسم خريطة لتغيرات طفيفة في حقل الجاذبية الأرضية، بحيث يتمكن الجيولوجيين من تحديد مواقع الرواسب المعدنية الجديدة أو تحديد مواقع الأنابيب تحت الطرق لتقليل الجهد عندما يحتاج العمال إلى الوصول إليها.

ستحتوي الكاميرات الكمومية على مستشعرات تسمح لنا برؤية ما وراء الحواجز، سوف يسمح التصوير الكمي برسم خرائط غير تداخلية لنشاط الدماغ مع إمكانية معالجة حالات مثل الخرف.

سيمكننا مفتاح التوزيع الكمي(*) من تبادل المعلومات بأمان من مكان إلى آخر.

ستساعدنا تقنيات الكم أيضًا في بناء آلات جزيئية اصطناعية يمكنها تنفيذ العديد من المهام.

الطب على وجه الخصوص هو مثال جيد على المكان الذي

(*) يعرف بالإنجليزية ب Quantum key distribution (QKD).

مـن المحتمـل أن يكـون فيـه لعالـم الكـم تأثير كبير في السـنوات القادمة.

فـي نطاقات الطـول الأصغر حتى من الخلايا الحية، سـنرى مجموعة من التقنيات الجديدة المذهلة الناشئة، مثل: الجسيمات النانويـة ذات الخصائـص الكموميـة الفريـدة التـي تسـمح لهـا بالارتباط بالأجسـام المضادة للمسـاعدة في معالجة العدوى، أو يتم برمجتها لتستنسخ فقط داخل الخلايا السرطانية، وستستخدم حتـى لالتقـاط صـور للخلايـا مـن الداخـل؛ حينها، ستسـمح لنا المستشـعرات الكمومية بإجراء قياسـات أكثر دقة والمساعدة في تصوير الجزيئات الحيوية منفردة، وبمسـاعدة أجهزة الحاسـوب الكمومية، والتي سأناقشها في القسم التالي، سنكون قادرين على رصـد الحمـض النووي بسـرعة أكبـر بكثير مـن أي وقت مضى، بالإضافـة إلى حل بعض المهام التي تتضمن البحث في كل تلك «البيانـات الضخمـة» في كل جانب من جوانـب صحتنا، وصولاً إلى المستوى الجزيئي.

لقد كنت متعمدًا في انتقائيتي في هذه الأمثلة هنا؛ لأنه يوجد الآلاف مـن التطورات التقنية والهندسـية في الاتصالات والطب والطاقـة والنقـل والتصويـر والاستشـعار والتي سـتتحقق بفضل الفيزياء.

لكن هناك منطقة واحدة تستحق المزيد من التوسع.

الحواسيب الكمومية وعلوم القرن الحادي والعشرين

إذا كنت تعتقد أن الثورة الكمومية في القرن الماضي كانت مثيرة للإعجاب، فما عليك سوى الانتظار وشاهد ما يخبئه باقي القرن الحادي والعشرين، لن تمنحنا هذه التطورات ألعابًا أكثر ذكاءً والتي قد يجادل البعض في أنها ستجعل حياتنا أكثر تعقيدًا، لكنها سوف تساعدنا في معالجة بعض أكبر التحديات التي تواجه البشرية وستقلب عالمنا بطرق لا يمكن تصورها.

يعد الحاسوب الكمومي بلا شك أحد أكثر تطبيقات الفيزياء إثارة في المستقبل.

سيكون هذا الجهاز مختلفًا تمامًا عن أجهزة الحاسوب التقليدية وسيتم استخدامه لمجموعة واسعة من المهام التي من المستحيل القيام بها اليوم حتى مع أقوى أجهزة الحاسوب العملاقة.

من المتوقع أن تساعد أجهزة الحاسوب الكمومية البشرية في حل العديد من المشكلات التي تعتبر من أصعب المشكلات في العلوم، خاصة إذا تم ربطها بتطورات الذكاء الاصطناعي.

تعتمد أجهزة الحاسوب الكمومية بطريقة مباشرة للغاية على ميزات العالم الكمي الأكثر تناقضًا للحدس والمنطق.

في الحوسبة التقليدية(*)، يتم تخزين المعلومات ومعالجتها

(*) الحاسب التقليدي يعتمد على الأعداد الثنائية (٠ أو ١) ويتم إدخال هذه الأرقام إلى الدوائر الكهربائية على شكل نبضة كهربائية، حيث تمثل النبضة الكهربائية الرقم ١، بينما يمثل عدم وجود نبضة كهربائية الصفر. من خلال هاتين الإشارتين يمكننا أن نمثل الأعداد الثنائية، ومن خلال هاذين العددين الثنائيين (٠، ١) نستطيع تمثيل الأعداد العشرية (٠، ١، ٢، ٣، ٤، ٥، ٦، ٧، ٨، ٩) على سبيل المثال: الرقم ١ يمثله العدد الثنائي (٠٠٠١)، وهذا يعني توقف التيار لمدة زمنية تمثل ثلاث نبضات ومن ثم إعطاء نبضة. ومن خلال هذا البناء البسيط يتم ترميز جميع الأرقام والحروف على شكل نبضات (إيقاف = ٠، تشغيل = ١). بينما في الحاسوب الكمومي فالتمثيل يختلف، فبدل من البت التقليدي (٠، ١) لدينا ما يسمى البت الكمومي، أو «الكيوبت» ويعرف بالإنجليزية (Quantum Bit = QuBit) وهو يعتمد على خصائص الجسيمات الكمومية كالتراكب (التراكب وصف للجسيمات الكمومية (كالإلكترون) عندما يأخذ أكثر من حالة كمية في نفس الوقت)، مما يعني أنه بدل من الاعتماد على التعبير بالأرقام الثنائية (٠، ١)، سنتمكن من استخدام الاثنين معاً (صفر وواحد في نفس الوقت) أي: أننا لا نحتاج إلى تشغيل وإيقاف للحصول على عمليتين، بدلًا من ذلك ستدمج العمليتين كعملية واحدة في الحاسوب الكمومي. هذا بوجود بت كمومي واحد فقط، أما بوجود اثنان فالعمليات المكافئة لها=

في شكل مجموعة من «البتات» - والتي تعني الأرقام الثنائية -.

يمكـن أن تحتـوي قطعة واحدة مـن المعلومات على إحدى القيمتين: صفر أو واحد.

تُسـتخدم مجموعـات المفاتيـح الإلكترونية، التـي يمثل كل منهـا مظهرًا ماديًا لقليل من المعلومات إما في وضع التشـغيل أو الإيقـاف لإنشـاء بوابـات منطقيـة، وهي اللبنـات الأساسـية التي تشكل دائرة منطقية.

في المقابل؛ تعمل أجهزة الحاسوب الكمومية على ما يسمى البتات الكمومية، أو «الكيوبتات»، والتي لا تقتصر على احتمالية واحدة فقط أو أخرى من هذه الحالات الثنائية.

بدلاً من ذلك؛ يمكن أن يوجد البت الكمي في تراكب كمي لـكل مـن صفر وواحد في وقت واحد، وعلـى هذا النحو، يمكنه تخزين المزيد من المعلومات.

= فـي الحاسـب التقليـدي تتضاعـف إلـى ٤ عمليـات، وإذا أضفـت بت كمومي ثالث سـيتضاعف العدد إلى ٨ عمليات. فإذا وصلنا إلى بضع مئات من البتات الكمومية، فإن عدد العمليات المكافئة في الحاسـب التقليدي سـيتضاعف بشـكل هائل لا يصدق. لدرجـة أنك لو صنعت حواسـب تقليدية بعدد ذرات الكون وجعلتها تعمل معاً لإنجاز عملية واحدة، فإنها لن تستطيع إنجاز ما ينجزه الحاسوب الكمومي في ثانية ولو عملت طوال عمر الكون! (المترجم)

إن أبسط مثال للبت الكمومي هو الإلكترون الذي يمكن أن يشير لفه الكمومي إما بالتوازي - نسمي هذا الدوران «لأعلى» - أو عكس الموازي - الدوران «لأسفل» - بالنسبة للمجال المغناطيسي المطبق عليه.

إذا تم تطبيق نبضة كهرومغناطيسية إضافية بعد ذلك، فيمكنها قلب دوران الإلكترون من التوازي (٠) إلى الموازي (١)، ولكن نظرًا لأن الإلكترون جسيم كمي، فإن النبض الكهرومغناطيسي يمكنه أيضًا وضعه في تراكب من الدوران لأعلى (٠) ولأسفل (١) في نفس الوقت.

يمكن وضع إلكترونين متشابكين في تراكب لأربع حالات كمية محتملة - ٠٠، ٠١، ١٠ و ١١ - في وقت واحد.

مع العديد من البتات الكمومية، يمكن تطوير دوائر منطقية كمومية معقدة.

عندما تتشابك عدة بتات كمومية معًا، يمكنها العمل بشكل متماسك وبالتالي معالجة خيارات متعددة في وقت واحد، مما يجعلها أكثر قوة وفعالية من نظيراتها التقليدية، لكن هناك تحديات لصناعة مثل هذا الجهاز.

حالات التشابك الكمومية حساسة للغاية ولا يمكن الحفاظ عليها إلا في ظل ظروف خاصة لفترات قصيرة من الزمن.

لا يكمن التحدي في عزل هذه الحالات وحمايتها عن بيئتها المحيطة فقط، لحفظ التماسك الكمي، ولكن في القدرة على التحكم في مدخلات ومخرجات المعلومات التي تعالجها البتات الكمومية.

ويزداد هذا الأمر صعوبة تدريجياً كلما زاد عدد البتات الكمومية المتشابكة.

بمجرد اكتمال الحوسبة، يتم تحديد إحدى الحالات النهائية المحتملة في تراكب البتات الكمومية، ويجب تضخيمها حتى يمكن قراءتها باستخدام جهاز مجهري (تقليدي)، والذي يعد مجرد واحدة من العديد من مشاكل التنفيذ البارزة التي لم يتم حلها بعد.

على الرغم من هذه التحديات الصعبة، فإن العديد من المعامل البحثية حول العالم في سباق اليوم لبناء أول حاسوب كمومي حقيقي.

قبل عدة سنوات فقط، لم يكن من الواضح حتى ما إذا كان صنع مثل هذا الجهاز ممكنًا، لكن الباحثين يتحدثون الآن عن تحقيق حلمهم في العقد أو العقدين المقبلين، وأن النماذج الأولية موجودة بالفعل.

يوجد حاليًا عدد من الطرق المختلفة لبناء جهاز حاسوب كمومي، ولم يتضح بعد أيها سيكون الأكثر عملية.

عادةً؛ يمكن إنشاء البتات الكمومية من أي جسيمات دون ذرية تُظهر سلوكًا كمومياً والتي يمكن أن تتشابك معًا، مثل: الإلكترونات والفوتونات، أو الأيونات المعلقة في الحقول الكهرومغناطيسية، أو الذرات المحاصرة بأشعة الليزر، أو السوائل والمواد الصلبة الخاصة التي يمكن فيها فحص الغزل الكمي لنواتها الذرية باستخدام الرنين المغناطيسي النووي.

يشارك عمالقة الحوسبة أي بي إم (IBM) وقوقل حاليًا في السباق لبناء أول حاسوب كمومي حقيقي، لكن لم يتمكنا حتى الآن من بناء نظام مستقر متعدد الكيوبتات يمكن أن يستمر لفترة طويلة بما يكفي لجعل الحوسبة الكمومية قابلة للتطبيق عمليًا.

هناك أيضًا العديد من الشركات الناشئة الصغيرة التي تعمل على حل المشكلة.

يركز البعض على قضية الاستقرار، بينما يعمل البعض الآخر على زيادة عدد الكيوبتات المتشابكة، ولكن هناك تقدم، وليس لدي أدنى شك في أن الحوسبة الكمومية ستصبح حقيقة واقعة وشائعة في حياتي.

من المهم الإشارة إلى أن تصميم الأجهزة لا يشكل تحديًا فحسب.

ستحتاج أجهزة الحاسوب الكمومية أيضًا إلى برامجها الخاصة لتعمل عليها، ولا تزال الخوارزميات الكمومية تعاني من نقص في المعروض.

وأشهر الأمثلة هي: خوارزمية عوامل شور وخوارزمية بحث قروفر.

ما تم إثباته بالفعل هو أن مثل هذه الخوارزميات ستسمح لأجهزة الحاسوب الكمومية بالتفوق في أدائها على نظيراتها الكلاسيكية ببعض الطرق المدهشة.

لن تحل الحواسب الكمومية بأي حال من الأحوال محل أجهزة الحاسوب الحالية في جميع المهام ولكنها ستكون مناسبة تمامًا لحل مشاكل رياضية معينة.

سنستمر في استخدام القوة المتزايدة باستمرار وسرعة المعالجة لأجهزة الحاسوب التقليدية لإدارة الكثير من الأمور في حياتنا اليومية، خاصة مع تقدمنا على عدد من الجبهات في تقنَيات الذكاء الاصطناعي والحوسبة السحابية وإنترنت الأشياء - فكرة أن العديد من الأجهزة في منازلنا وأماكن العمل ستتمكن من التواصل والتحدث مع بعضها البعض -.

وستستمر أجهزة الحاسوب التقليدية أيضًا في معالجة الجبال المتزايدة من البيانات في عالمنا.

ومع ذلك؛ فإن هناك مشاكل عدة حتى أقوى أجهزة الحاسوب التقليدية في المستقبل لن تكون قادرة على حلها.

يكمن جمال أجهزة الحاسوب الكمومية في أن سرعة معالجتها تتسع بشكل أُسي مع عدد وحدات البت.

ضع في اعتبارك محتوى المعلومات لثلاثة مفاتيح غير كمومية، يمكن أن يكون كل منها إما ٠ أو ١؛ وبالتالي هناك ثماني مجموعات مختلفة: ٠٠٠، ٠٠١، ٠١٠، ١٠٠، ٠١١، ١٠١، ١١٠، ١١١. لكن ثلاثة بتات كمومية متشابكة تسمح لنا بتخزين جميع المجموعات الثمانية في وقت واحد.

كل رقم من الأرقام الثلاثة هو ١ و ٠ في نفس الوقت.

على الحاسوب الكلاسيكي، يزداد مقدار المعلومات أضعافًا مضاعفة مع عدد البتات، لذا فإن عدد (س) بت تعني حالات (٢)^س^ مختلفة.

يمكن للحاسوب الكمومي المزود بـ (س) كيوبت أن يستفيد من جميع حالات (٢)^س^ مرة واحدة.

الجزء الصعب هو تصميم خوارزميات قادرة على الاستفادة من مساحة المعلومات الكبيرة هذه.

سيتم استخدام أجهزة الحاسوب الكمومية يومًا ما لحل المشكلات عبر مجموعة واسعة من التخصصات، في الرياضيات والكيمياء والطب والذكاء الاصطناعي.

يتطلع الكيميائيون بشغف إلى إمكانية استخدام أجهزة الحاسوب الكمومية لنمذجة تفاعلات كيميائية شديدة التعقيد.

في عام ٢٠١٦ طورت قوقل جهازًا كموميًا بدائيًا كان قادرًا على محاكاة جزيء الهيدروجين لأول مرة، ومنذ ذلك الحين، نجحت شركة إم بي أي في نمذجة سلوك الجزيئات الأكثر تعقيدًا.

من المنطقي أنه لفهم طبيعة العالم الكمي، فأنت بحاجة إلى محاكاة كمومية.

بعد كل شيء؛ لا يمكنك أن تعرف إلا بالتجربة.

وفي النهاية؛ يأمل الباحثون أن يتمكنوا من استخدام المحاكاة الكمومية لتصميم جزيئات اصطناعية وتطوير عقاقير جديدة.

في الزراعة، يمكن للكيميائيين استخدام أجهزة الحاسوب

الكمومية لاكتشاف محفزات جديدة للأسمدة من شأنها أن تساعد في تقليل انبعاثات الاحتباس الحراري وتحسين إنتاج الغذاء.

.

في الذكاء الاصطناعي، ستعمل أجهزة الحاسوب الكمومية على تسريع التحسين الأمثل للمشاكل المعقدة في التعلم الآلي بشكل كبير.

يعد هذا أمرًا حيويًا عبر مجموعة من الصناعات حيث تعد زيادة الإنتاجية والكفاءة لزيادة الإنتاج أمرًا أساسيًا.

من المحتمل أن تُحدث أجهزة الحاسوب الكمومية ثورة في مجال هندسة الأنظمة من خلال المساعدة في تقديم رؤى التحسين لتبسيط الإنتاج وتقليل الخسائر.

وفي المستقبل غير البعيد، سيكون مهندسو الكم بارعين في مجموعة واسعة من الموضوعات - من ميكانيكا الكم والهندسة الإلكترونية إلى هندسة الأنظمة والذكاء الاصطناعي وعلوم الحاسوب -.

الأمر الأكثر إثارة بالنسبة لي شخصيًا - بافتراض أنني ما زلت موجودًا لأشاهده -، هو أنه بحلول منتصف القرن الحادي والعشرين، قد نرى حواسيب كمومية تشغل برامج الذكاء

الاصطناعي التي ستجيب في النهاية على بعض أهم الأسئلة الفيزياء الأساسية.

ربما الذكاء الصناعي، وليس البشر، سيحقق اكتشافات كبيرة.

هناك سبب آخر لاختياري الحوسبة الكمومية كمثال لتكنولوجيا المستقبل.

يعلق عدد من علماء الفيزياء النظرية آمالهم على الحوسبة الكمومية لمساعدتهم.

هذا لأن الحاسوب الكمومي بطبيعته يجب أن يكون في وضع يسمح له بمحاكاة العالم الكمي بدقة وربما يساعدهم في العثور على النظرية الصحيحة للجاذبية الكمومية.

آمل في المواضيع التي غطيتها في هذا الكتاب، أنني قد أعطيتك لمحة عن ما مكنتنا الفيزياء من فهمه عن عالمنا وكيف نستمر نحن كجنس بشري في الاستفادة من تلك المعرفة.

في الفصل الأخير؛ أريد أن أنظر بنظرة أوسع، وأصف كيف يفكر الفيزيائي - أو أي شخص لديه تدريب علمي - في العالم، وكيف نتعرف على ماذا يجب أن نفعل حيال معرفتنا بهذا العالم.

بعبـارة أخرى: كيف يعمل هذا الصرح العظيم للعلـم - ليس فقط المعرفة العلمية نفسـها، ولكن عملية اكتسـابها - ولـماذا نثق به؟

الفصل العاشر
التفكير كفيزيائي

الشك واليقين

أريد أن أشارككم ما أعتقد أنه قصة ممتعة.

فـي عـام ٢٠١٧ قدمت فيلمًـا وثائقيًا لتلفزيون البي بي سـي (BBC) بعنـوان «أنـا والجاذبيـة»، حيث اسـتعرضت كيف تطور فهمنـا العلمـي عبر التاريخ لهذا المفهوم الأساسـي الذي يشـكل عالمنـا، مـن جاذبية نيوتـن الغير مرئية إلى بنية الزمكان نفسـه، ما جعـل المشـروع أكثر متعة هو أننـا طورنا تطبيقًـا للهواتف الذكية يراقب موقع المسـتخدم عـن طريق تسـجيل إحداثيات الجي بي إس الخاصة به - خطوط الطول والعرض والارتفاع فوق مستوى سـطح البحر - على فترات منتظمة، ثم يستخدم هذه المعلومات لحسـاب المعدل الذي يمر فيه الوقت للمسـتخدم؛ وفقًا للنسـبية العامـة، يتدفـق الزمـن بمعدلات مختلفـة اعتمادًا علـى قوة حقل الجاذبيـة بحسـب الموقع، يكون شـخص ما على قمـة جبل أبعد عن مركز الأرض من أي شخص آخر على مستوى سطح البحر؛

وبالتالي يشعر ساكن الجبل بجاذبية أضعف قليلاً من أي شخص أخر على مستوى سطح البحر.

هـذا يعني أن الوقـت على قمة الجبل يكون أسـرع قليلاً منه على مستوى سطح البحر.

إنـه تأثيـر ضئيـل: أسـرع عنـد قمة الجبـل بأقل مـن جزء من تريليون جزء من الثانية لكل ثانية تمر عند مسـتوى سـطح البحر؛ لذا، حتى لو قضى شخص ما حياته كلها على قمة الجبل، وكانت جميـع العوامـل الأخـرى متسـاوية - مسـتحيل... أعلـم أنـه مسـتحيل -، سـيعيش لمـدة أقـل مـن ميلي ثانيـة تقريبًـا عما كان سيعيشـه إذا أمضـى حياتـه على مسـتوى سـطح البحـر - إذا قمنا بالقياس بساعة افتراضية دقيقة للغاية، بخلاف ذلك ستكون ساعة افتراضية عديمة الجدوى معلقة تطفو في الفضاء -.

بالمقارنـة مـع الفوائـد الأكثر بكثير لاستنشـاق هـواء الجبل النظيف أو اتباع نظام غذائي صحي وممارسـة التمارين الرياضية بانتظام، فإن هذه الميزة - تمدد الزمن لجزء من تريليون جزء من الثانية - لا طائل من ورائها إلى حد ما.

ومـع ذلك؛ فـإن التأثير المادي حقيقـي، وكان التطبيق الذي ابتكرناه ممتعًا بعض الشيء.

لإنشاء التطبيق؛ كان علينا أخذ عامل آخر في الاعتبار؛ فكما ناقشت في الفصل الثالث، تعمل الساعات المتحركة بشكل أبطأ من الساعات الثابتة؛ لذلك يمكنك إبطاء وقتك، بالنسبة لشخص يقف ساكنًا، عن طريق التحرك.

هـذا تأثيـر أصغر حتى من التأثير الناتج عن الجاذبية؛ لأننا لا نستطيع التحرك في أي سرعة قريبة من سرعة الضوء، لكي يصبح تأثير تباطؤ الزمن ملموسًا.

ومـع ذلك؛ فقد أخذ التطبيق الحركة فـي الاعتبار عن طريق التحقق من موقع المسـتخدم على فترات منتظمة، وإذا قام بتغيير الموقع بشكل كبير، فيمكنه تحديد السرعة التي تحرك بها.

الآن؛ إليـك الجزء الحاسـم: كوكبنا ليس كـرة مثالية، فالكرة الأرضية أكثر انتفاخاً عند خط الاستواء؛ لذا، فإن شخصًا ما يقف عند خط الاستواء هو أبعد من مركز الأرض من شخص آخر في القطـب الشـمالي (بحوالـي ٢٢ كيلومترًا)؛ وبالتالي، مثل سـكان الجبل، سيشـعرون بجاذبية أضعف قليلاً؛ لذلك، يجب أن تكون السـاعات في القطب الشـمالي، حيث تكون الجاذبية أقوى، أبطأ قليـلاً مـن تلـك الموجـودة عند خط الاسـتواء - وهذا ما يسـمى بالتمدد الزمني النسبي العام -.

ومع ذلك؛ فإن الأرض تدور أيضًا، والساعات عند خط الاستواء تتحرك أسرع من الساعات في القطب - كما تم قياسها بواسطة ساعة تطفو في الفضاء -؛ لذا يجب أن تتحرك ساعات خط الاستواء بشكل أبطأ من الساعات القطبية - تمدد زمني نسبي خاص - هذين التأثيرين، بسبب النسبية الخاصة والعامة، يعملان ضد بعضهما البعض، إذن أيهما سيفوز؟ أي ساعة تدق بشكل أبطأ؟

لقد حسبت هذين التأثيرين بشكل منفصل، ووجدت أن الساعة في القطب تدق، بشكل عام، بشكل أبطأ؛ لأنها تشعر بجاذبية أقوى، على الرغم من أن الساعة على خط الاستواء تتحرك بشكل أسرع.

تم دمج كل هذه المعلومات الرياضية الرائعة في التطبيق، والذي طبق المعادلات التي وضعتها.

أدت حملة وسائل التواصل الاجتماعي الحماسية إلى إقناع الآلاف من الأشخاص بتنزيل التطبيق واستخدامه قبل بث البرنامج الوثائقي، حتى أننا تلقينا مذكرات فيديو من عدد من الأشخاص، مثل الطيار ومتسلق الجبال، الذين قاموا بإرسال سجلاً لنتائج تطبيقاتهم.

ثم اصطدمنا بعقبة.

اتصل بي المنتج الذكي للغاية، بول سين، في إحدى الأمسيات، قبل أسبوع من الموعد المقرر لانتهاء تحرير البرنامج وقبل ذلك بقليل كان من المقرر أن أسجل التعليق الصوتي - للإرسال المتوقع على البي بي سي الذي سيبث بعد ذلك بوقت قصير، قال: إنه كان يقرأ بعض المواد في منتدى للفيزياء عبر الإنترنت مما يشير إلى أنني ربما أكون قد أخفقت.

تركت على الفور ما كنت أعمل عليه وعدت لأراجع حساباتي، كما أنني أرسلت بسرعة عبر البريد الإلكتروني لنصف دزينة من الزملاء للتحقق مما قمت به من حسابات.

لقد ارتكبت بالفعل خطأً أساسيًا للغاية.

التأثيران - تباطؤ الوقت في القطب لأن هناك جاذبية أقوى، وبطء الزمن عند خط الاستواء لأن هناك حركة أسرع - يلغي بعضهما البعض تمامًا!

في الواقع؛ كل الساعات عند مستوى سطح البحر تدق بنفس المعدل، في كل مكان على الأرض، والوقت الذي تقيسه يسمى التوقيت الذري الدولي (IAT).

سطح الأرض عبارة سطحي مستوي مع بعض المرتفعات والمنخفضات، وهو سطح جاذبية متساوي الجهد حيث لا يكون الإلغاء بين التأثيرين بسبب النسبية الخاصة والعامة من قبيل الصدفة.

عندما تشكل كوكبنا لأول مرة منذ بلايين السنين، كان ساخنًا ومرنًا، دفعه دورانه إلى شكل أكثر ثباتًا وانتفاخًا - مفلطحًا -، مما يضمن أن جميع النقاط الموجودة على سطحه تقع في نفس إمكانات الجاذبية؛ لذا، فإن الوقت يتدفق بنفس المعدل في كل مكان، شريطة أن يتم قياسه عند مستوى سطح البحر - ارتق لأعلى ويزداد وقتك، ثم انزل تحت سطح الأرض وتباطأ -.

كانت الأرقام التي تم إنتاجها بواسطة تطبيقي خاطئة، وكان لابد من تصحيح الصيغ، لكن المشكلة كانت أكبر من ذلك؛ لقد شرحت كيف يعمل التطبيق في البرنامج، وكان خطئي موجودًا ليراه الجميع؛ فتعذر بث الفيلم الوثائقي بشكله الحالي.

أخبرت المنتج الذي أعمل معه، والذي طلب على الفور من هيئة الإذاعة البريطانية (بي بي سي) تأجيل بث الوثائقي.

كان الحل الأسهل بالطبع هو إعادة تصوير المشاهد التي ارتكبت فيها الخطأ.

لـن يكون أي رأي آخر أكثر حكمة من هذا، لكن سـرعان ما أدركـت أن هـذا منحنـي فرصـة رائعة لإظهـار كيف يعمـل العلم الحقيقـي؛ بـدلاً من التسـتر على خطئـي الفادح، يجـب أن أكون صريحًـا حيـال ذلـك؛ لأظهر أنـه في العلـم لا بأس مـن ارتكاب الأخطـاء؛ لذلـك، قمنـا بتصويـر بعـض المشـاهد الجديـدة التي اعترفت فيها بأخطائي بكل مجدها وشرحت لماذا كنت مخطئًا.

لم يتطلب هذا الاعتراف أي شـجاعة خاصة أو قوة شخصية مـن جانبي؛ لأن ارتكاب الأخطاء هو عادةً الطريقة التي يتقدم بها العلم: فهي حتمية، ونحن نتعلم منها.

بعـد كل شـيء؛ إذا لـم نرتكب أخطاء، فكيف سنكتشـف أي شيء جديد عن العالم؟

هـذا هـو المكان الـذي يختلف فيـه العلم عن - على سـبيل المثال - السياسة.

أعنـي: كـم مرة تسـمع سياسـين يعترفون بشـكل لا لبس فيه بأنهم مخطئون؟

تاريـخ العلـم ملـيء بأمثلـة للتعلم مـن أخطـاء الماضي، مع فرضيات ونظريات جديدة تحل محل الفرضيات القديمة مع نمو فهمنا لأسـاليب عمل الطبيعة أو توفر أدلة تجريبية جديدة، ولكن

كيف نفسر قيمة هذا النهج للمجتمع بشكل عام: تكوين فرضية، واختبارها، ثم رفضها إذا كانت لا تتناسب مع البيانات؟ كل هذا بعيد كل البعد عن الكثير من أنواع الخطاب العام الذي نرصده اليوم، لا سيما على وسائل التواصل الاجتماعي، حيث الصوت الأعلى عادة يكون لأولئك الذين يعظمون الرأي الشخصي والتحيز المسبق على حساب الأدلة، وإمكانية التكرار، والصرامة(*).

هل هناك إذن درس يمكن للعلماء تعليمه للمجتمع، أم أننا سنُتهم فقط بالغطرسة و «النخبوية»؟

سمة أخرى مرتبطة ارتباطًا وثيقًا بهوسنا باليقين، وتكاد تكون فريدة من نوعها في البحث العلمي، هي أهمية الشك.

يمكن أن تكون هذه السمة في بعض الأحيان أسوأ عدو فينا عندما يتعلق الأمر بشرح كيفية عمل العلم لعامة الناس.

نعلن أنه لا يمكننا أبدًا أن نكون متأكدين تمامًا من شيء ما، وأن النظرية العلمية ليست سوى أفضل تخمين حالي لدينا في

(*) يقصد الكاتب في التكرر للحصول على نفس النتائج، وهي سمة من سمات العلم، والصرامة والدقة كذلك في التعاطي مع المنهج العلمي، كلها سمات من سمات العلم. (المترجم)

التفسير، وأنه بمجرد تعارض هذه النظرية مع الملاحظات أو البيانات الجديدة، يجب أن نكون مستعدين لمراجعتها أو تجاهلها من أجل شيء أفضل، لكن سيقول بعض الناس بعد ذلك: إذا لم تكن متأكدًا من أي شيء، فكيف يمكننا الوثوق أو تصديق أي شيء تخبرنا به؟ بدون يقين ما الذي يمكننا التشبث به؟

هذا الرد مفهوم.

إن من طبيعتنا الرغبة في أن نعرف على وجه اليقين، وليس فقط الحصول على «أفضل تخمين» مؤقت.

لكن التفكير بهذه الطريقة يعني إساءة فهم كيفية تقدم العلم.

لا تأتي مصداقية العلم من اليقين، ولكن من الانفتاح الشديد بشأن عدم اليقين فيه، مما يدعو دائمًا إلى التشكيك في ما نفهمه حاليًا ونستعد لاستبدال تلك المعرفة بفهم أعمق إذا ظهر شيء أفضل.

في مناحي الحياة الأخرى، قد يُنظر إلى هذا الموقف على أنه متقلب، لكن ليس في العلم.

يعتمد التقدم العلمي على التزام العلماء الراسخ بخصال اليقين والشك.

إليك مثال آخر على الطريقة التي يفكر بها العلماء، قد تكون مفاجأة لك.

غالبًا ما يصاب الناس بالصدمة لسماع أن العديد من الفيزيائيين - بخلاف أولئك الذين كرسوا سنوات من حياتهم لبناء مصادم الهادرونات الكبير - كانوا يأملون أن لا يتم العثور على بوزون هيغز.

كما ترى؛ فإن عدم العثور على بوزون هيغز كان سيعني أنه كان هناك بالفعل خطأ ما في النموذج المعياري، مما يفتح الباب أمام فيزياء جديدة ومثيرة.

إن مجرد وضع علامة صح في المربع للتأكد من شيء كنا نشك بالفعل في صحته ليس مثيرًا بقدر الاكتشاف بأننا بحاجة إلى متابعة مسارات بحث جديدة للكشف عن أشياء لم تكتشف بعد.

من ناحية أخرى؛ أحيانًا نُتهم نحن الفيزيائيون من قبل العلماء ذوي النوايا الحسنة «ولكن الهواة» بعدم الانفتاح بما يكفي للترفيه عن نظرياتهم الجديدة، مثل الادعاءات بأنهم وجدوا بعض الخلل في نسبية آينشتاين.

الحقيقة هي: كم أود لو تم إثبات خطأ نظرية آينشتاين؛ لأن

هـذا يعنـي أننا سـنحتاج إلـى نظرية جديـدة وأفضـل لتحل محل نظريتـه، تمامًا كما تطورت النسـبية العامة وحلـت محل الجاذبية النيوتونية، لكن الفيزيائيين دأبوا على التحقق من أفكار آينشتاين، بهمزهـا ووكزهـا بلا هوادة منذ قرن من الزمـان، وما زالت نظرية النسبية تتقدم بألوان متطايرة.

قـد يتم اكتشـاف نظرية أفضـل يومًا ما بالطبع، لشـرح كل ما تفعله النسبية وأكثر، لكننا لم نكتشف ذلك بعد.

وهكـذا؛ كجـزء مـن جهودنـا المسـتمرة منـذ قـرون لإيجاد تفسـيرات أكثـر جوهريـة للظواهر الفيزيائية، نسـتمر فـي محاولة هدم نظرياتنـا الحالية، باختبارها لأقصى مدى لمحاولة تدميرها، فإذا نجت، فنحن نثق بها... حتى يأتي شيء أفضل.

في النظرية والمعرفة

عندمـا يقول شـخص ما، في محادثـة عامـة، أنّ لديه نظرية؛ فإنه عادة ما يقصد أن لديه رأيًا في شيء ما – وجهة نظر قد تكون مبنية على شـكل من أشكال الأدلة أو الملاحظة، ولكن على قدر جـودة ملاحظتـه، لن تعدو عـن كونها مجرد تخميـن، أو حدس، قائم على أيديولوجية أو تحيز أو نظام عقائدي آخر –.

مثل هذه «النظرية» التي قد تكون صحيحة أو لا تكون، تختلف تمامًا عما نعنيه بالنظرية العلمية[1] - والتي قد تكون أيضًا صحيحة أو لا تكون كذلك - ولكنها ليست كالرأي البسيط؛ فالنظرية هنا يجب أن تفي بعدد من المعايير الهامة:

أولاً: يجب أن تقدم تفسيرًا لما نلاحظه، سواء في الطبيعة أو في التجربة، ويجب أن تقدم الدليل على هذا التفسير.

ثانيًا: يجب أن تكون النظرية العلمية قابلة للتحقق وفقًا للمنهج العلمي.

يجب أن تكون قابلة للاختبار.

ويجب أن تكون تلك الاختبارات أو الملاحظات قابلة للتكرار.

أخيرًا: تقدم النظرية العلمية الجيدة تنبؤات جديدة حول جوانب العالم التي تشرحه، ويجب على التنبؤات أيضًا أن تكون قابلة للاختبار من خلال المزيد من الملاحظات أو التجارب.

خضعت نظرياتنا العلمية الأكثر نجاحًا، مثل: النسبية وميكانيكا الكم ونظرية الانفجار العظيم والتطور الدارويني وعلم

---

(١) أفكر هنا في نظريات في العلوم الطبيعية وليس في علم الاقتصاد أو علم النفس على سبيل المثال.

بنيـة الأرض - بنيويـة الصفائـح - ونظرية الجراثيـم والأمراض، لتدقيـق صارم وظهرت جميعها كأفضل التفسـيرات التي نمتلكها لهذه العلوم.

لا يمكن رفض أي من هذه النظريات، قد يسـمع المرء كثيرًا - خاصة فيما يتعلق بالتطور الداروينـي - باعتبارها «مجرد نظرية»، قـد يتجاهـل مثل هـذا التصريح ما يعنيه أن تكـون النظرية العلمية ناجحـة - أن لها قوة تفسـيرية، وأنها مدعومـة بالأدلة، وأنها تقدم تنبؤات يمكن اختبارها، ومع ذلك تظل قابلة للدحض، بمعنى أنه إذا وجـد ملاحظـات أو نتائـج تجريبيـة تتعارض مـع تنبؤاتها فلا يمكـن أن تكون نظرية صحيحة، أو فـي أفضل الأحوال لا يمكن أن تكون القصة الكاملة.

كيـف إذن يجب أن نواجـه أولئك الذين يرغبون في تقويض العلـم والمنهج العلمي، أولئك الذيـن يدعون أن رأيهم يجب أن يكـون أعلى من الأدلة وأن «نظريتهم» يجب أن تُمنح نفس القدر مـن المصداقيـة التـي تُمنـح للنظريـة العلميـة التـي يدعـون أنهم يتحدونها أو ينازعونها، دون أن يحتاجوا للالتزام بنفس المعايير؟ فـي حيـن أننـا قد نجـد أنه من المسـلي أن يعتقد بعـض الناس أن الأرض مسطحة، أو أن هبوط أبولو على القمر كان خدعة، أو أن العالـم قـد تـم إنشـاؤه قبـل بضعـة آلاف من السـنين، فمـاذا عن

الأشـخاص الذيـن لديهـم وجهـات نظر ليسـت فقط ضـد العلم الراسخ، ولكنها ضاره حقًا بالمجتمع، مثل أولئك الذين ينكرون تغير المناخ بفعل الإنسان، والذين يرفضون تطعيم أطفالهم لأنهم يؤمنـون بوجـود صلة لا أسـاس لها بيـن لقاح الحصبـة والنكاف والحصبـة الألمانيـة والتوحـد، أو أولئك الذين يفضلون السـحر والخرافات على الطب الحديث؟

أجـد أنـه من المحبـط عدم وجـود إجابة واضحـة على هذه الأسئلة.

لقد كرسـت نصف مسيرتي الأكاديمية في الفيزياء لأبحاثي، محاولًا أن أفهم كيف يعمل الكون.

أمضيـت النصـف الآخر فـي التدريس والتواصل وشـرح ما تعلمته.

لذلـك، لا يمكنني ببسـاطة إعفاء نفسـي من أي مسـؤوليات للمشاركة ومناقشة القضايا العلمية مع الجمهور الأوسع.

العديد من هذه القضايا مهمة للغاية بحيث لا يمكن تجاهلها، لكنِنـي أعـرف أيضًا مدى صعوبـة تغيير وجهات نظر شـخص ما يؤمن بشدة بمسألة ما، مهما كنت أعتقد أنهُ مضلل.

بالمعنـى الحقيقي للغاية؛ فإن نظريات المؤامرة هي النقيض

القطبي للنظريات العلمية من حيث أنها تجعل معتنقيها يسعون إلى استيعاب أي دليل موجود ضدها ليتم تفسيره بطريقة تدعم فكرتهم الأساسية بدلاً من التخلي عنها، مما يجعلها فكره غير قابلة للدحض.

سيحاول الكثير ممن يحملون مثل هذه الآراء - نظرية المؤامرة وما سواها من أراء مناهضة للعلم - دائمًا للمفاضلة بين الأدلة ومحاولة تقديم تفسيرات بطريقة تؤكد فرضياتهم الموجودة مسبقًا، يُعرف هذا بالانحياز التأكيدي.

في كثير من الأحيان، وفي حالة المعتقدات الأيديولوجية؛ نسمع أيضًا بمصطلح «التنافر المعرفي»؛ حيث يشعر الشخص بقلق ذهني حقيقي عند مواجهته بأدلة تدعم وجهة نظر مخالفة لآرائه.

يعمل هذا المزيج الفعال من الانحياز التأكيدي وتفادي التنافر المعرفي على تعزيز المعتقدات الموجودة مسبقًا؛ لذا، فإن محاولة إقناع شخص ما في هذا الإطار الذهني بالأدلة العلمية يمكن أن تكون مضيعة للوقت في كثير من الأحيان.

إن كثيراً من الناس الذين يتلقون فيضانًا من وجهات النظر المختلفة على نطاق واسع عبر كل من وسائل الإعلام الرئيسية

ووسائل التواصل الاجتماعي، يجدون صعوبة في معرفة ما يجب تصديقه، وكيف يمكنهم التمييز بين المعلومات الدقيقة القائمة على الأدلة من الأخبار المزيفة؟

شيء واحد يمكن للعلماء القيام به هو معالجة مسألة التوازن الخاطئ.

وبالتالي، عندما يُقر كل عالم مناخ في العالم تقريبًا أن مناخ الأرض يتغير بسرعة بسبب النشاط البشري، وأن هناك شيئًا ما يجب القيام به على وجه السرعة إذا أردنا منع عواقب التغير المناخي الكارثية، لا تحتاج وسائل الإعلام إلى منكري تغير المناخ ليقدموا «الجانب الآخر من الحجة»؛ لأنه عندما يظهر منكري التغير المناخي على التلفاز أو في وسائل الإعلام الأخرى، يتكون لدى الجمهور انطباعًا بأن كلا وجهتي النظر صحيحتان.

بصرف النظر عن ثقل الأدلة العلمية؛ فإن الاختلاف بين شخص يجادل بأن التغير المناخي بسبب البشر واقع حقيقي، وآخِر ينكر ذلك هو أن الأول يأمل حقًا أن يكون مخطئًا.

سيعترف العالم دائمًا أنه **ربما** لا يحدث تغير المناخ، **ربما** تكون نظرية التطور خاطئة، أو النسبية خاطئة، **ربما** لا تجذبني

الجاذبيـة دائمًـا إلـى الأرض، ومن خـلال التأمل يجـب أن أكون قادرًا على التحليق، لكن هذه «الربما» لا تعني أننا لا نعرف.

نحن نعلم أننا سنستمر في اختبار نظرياتنا، وإذا صمدت فإننا نثـق بهـا ونتحدث عنهـا مع غير العلمـاء، لكن كعلمـاء نميل إلى التعبير عن أنفسنا من حيث اليقين والشك.

تمامًـا كما أن لكلمة «نظرية» معنى مختلفًا في العلوم مقارنة بالمحادثـات اليوميـة، كذلـك تعنـي كلمـة «مؤكـد» شـيئًا خاصًا للعلماء.

فـي أعماقـي؛ بالطبـع أنا متأكـد تمامًا من أنه من المسـتحيل التغلـب علـى قوة الجاذبية من خلال التأمـل من أجل الطفو فوق الأرض.

أنـا متأكد أيضًا مـن أن الأرض كرويـة، وأن عمرها مليارات السنين، وأن الحياة تتطور.

هل أنا متأكد من وجود المادة المظلمة؟... تقريباً.

في الحقيقة

لقد سـمعتها كثيرًا، أنه يقال: إن هناك طرقًا مختلفة للوصول إلى «الحقيقة»، أو في الواقع أن هناك أنواعًا مختلفة من الحقيقة.

لا شك أن فيلسوفًا أو لاهوتيًا يقرأ هذا الكلام سوف يعتبر وجهات نظري الفيزيائية التبسيطية حول هذه المسألة ساذجة بشكل ميؤوس منه، لكن بالنسبة لي تشير الحقيقة المطلقة إلى ما هو حقيقي وما هو موجود بشكل مستقل عن الذات البشرية؛ لذلك، عندما أتحدث عن العلم باعتباره بحثًا عن الحقيقة، أعني: أن العلماء يحاولون باستمرار الاقتراب قدر الإمكان من الطبيعة النهائية للأشياء، للاقتراب من واقع موضوعي ينتظر أن يتم اكتشافه وفهمه.

قد تشعر أحيانًا كما لو أن هذه الحقيقة الموضوعية ليست أكثر من مجموعة حقائق عن العالم نكتشفها ببطء حتى نعرفها جميعًا.

لكن تذكر أنه في العلم لا يمكننا أبدًا الادعاء بمعرفة شيء ما على وجه اليقين.

هناك دائمًا فرصة، في وقت لاحق، أن نتوصل إلى فهم أعمق، مما يجعلنا أقرب إلى الحقيقة المطلقة التي نسعى إليها.

من الناحية العملية؛ هناك العديد من الأفكار والمفاهيم في العلم التي وصلنا بشأنها إلى مستوى من الثقة بحيث يمكننا بأمان اعتبارها حقائق.

إذا قفزت من فوق سطح، فإن الأرض ستجذبني إلى الأسفل - وأنا سأجذبها لأعلى بشكل طفيف جدًا - وفقًا لعلاقة رياضية بسيطة أقرب ما يمكن أن نتوصل إليه من تأكيد للحقيقة.

لا نعرف حتى الآن كل شيء يجب أن نعرفه عن الجاذبية، لكننا نعرف تأثيرها على الأشياء في عالمنا.

إذا أسقطت كرة من ارتفاع خمسة أمتار، فأنا أعلم دون الحاجة إلى التحقق من خلال ساعة توقيت أنها ستكون في الهواء لمدة ثانية واحدة قبل أن تصل إلى الأرض - ليس ثانيتين، أو نصف ثانية، ولكن ثانية واحدة -.

قد نجد يومًا ما نظرية جديدة للجاذبية الكمية، لكنها لن تتنبأ أبدًا بأن كرتي ستستغرق ضعف أو نصف المدة التي تنبأت بها معادلة نيوتن للحركة.

هذه حقيقة مطلقة عن العالم.

لا توجد حجة فلسفية، ولا قدر من التأمل، ولا صحوة روحية أو خبرة دينية، أو غريزة داخلية أو أيديولوجية سياسية يمكن أن تخبرني أن كرة تسقط من ارتفاع خمسة أمتار ستستغرق ثانية واحدة لتصل إلى الأرض. لكن العلم(*) يمكن أن يخبرني.

(*) المقصود في العلم هو العلوم الطبيعية "Science". (المترجم)

بمعنى ما، إن الفجوات المتبقية في فهمنا لقوانين الكون - طبيعة المادة المظلمة والطاقة المظلمة، وما إذا كانت نظرية التضخم صحيحة، والتفسير الصحيح لميكانيكا الكم، والطبيعة الحقيقية للزمن، وما إلى ذلك - لن تغير فهمنا للقوى والمادة والطاقة التي تشكل عالمنا اليومي.

إن التطورات المستقبلية في الفيزياء لن تجعل ما نعرفه بالفعل بالياً، سيقومون فقط بتنقيحها وإعطائنا فهمًا أعمق.

الفيزياء إنسانية

في النهاية؛ إننا علماء الفيزياء كأي إنسان آخر نرغب في أن تكون أفكارنا ونظرياتنا صحيحة، وسندافع عنها في مواجهة الأدلة المستجدة المعارضة، حتى أكثر الفيزيائيين ذكاءً عُرفوا بتقليل مشاكل نظرياتهم وتضخيم انتقاداتهم لفكرة منافسة.

يوجد الانحياز التأكيدي في العلم تمامًا كما هو الحال في جميع مناحي الحياة، والعلماء ليسوا محصنين ضده.

نحن نسعى جاهدين من أجل تولي المناصب والترقيات، للتَنافس على التمويل المالي للأبحاث، والوفاء بالمواعيد النهائية للمشاريع، «النشر أو الهلاك»، والعمل الجاد لكسب احترام أقراننا واستحسان رؤسائنا.

ومع ذلك؛ فإن جزءًا من تدريبنا على المنهج العلمي هو تطوير التواضع والصدق في البحث العلمي لتمكيننا من التصرف ضد غرائزنا الأساسية.

نتعلم أن لا تعمينا رغباتنا أو تضللنا تحيزاتنا ومصالحنا، يصعب أحيانًا رؤية ذلك إذا ركزت على الأفراد - وهناك عدد من الأمثلة الموثقة جيدًا عن الاحتيال والفساد في البحث العلمي -، ولكن كمجتمعات بحثية، لدينا إجراءات تصحيحية مضمنة، مثل: مراجعة الأقران للأوراق العلمية - ونعم، أعلم أن هذه ليست طريقة مثالية لتقييم البحث العلمي -، ونحن ندرب العلماء الشباب بصرامة في الجوانب الأخلاقية ولاتخاذ الإجراءات البحثية بمسؤولية؛ هذا يعني أن الطريقة العلمية، بطبيعتها، تصحح نفسها بنفسها، وتتطلب التكرار والتقييم المستمر الصادق والنقدي للأفكار؛ فتختفي النظريات الضعيفة في نهاية المطاف، على الرغم من صعوبة محاولة مناصريها لإبقائها على قيد الحياة، وحتى إذا استغرق الأمر في بعض الأحيان جيلًا أو جيلين لتحرير أنفسنا من قيود الهيمنة لنظرية مهيمنة بشكل خاص تجاوزت صلاحية الانتهاء.

غالبًا ما يكون أفضل علماء الفيزياء هم أولئك الذين تمكنوا من الوصول لنظرة شاملة وتحرير أنفسهم من تحيزات الإجماع

أو الموضة أو السمعة، واستطاعوا تحرير أنفسهم حتى من تحيزاتهم الخاصة.

وهذا من المرجح أن يحدث لأغلب الفيزيائيين؛ لأنهم على علم بالفعل أن النظرية ليست الكلمة الأخيرة في موضوع ما، وأن هناك نظريات متنافسة، فلكل منها مؤيدين مخلصين.

وتذكر أن الفيزياء، مثلها مثل كل العلوم، ليست ديمقراطية.

كل ما يتطلبه الأمر هو ملاحظة تجريبية جديدة لإسقاط نظرية مقبولة على نطاق واسع واستبدالها بأخرى جديدة.

بعد ذلك؛ فإن النظرية الجديدة هي التي يجب أن تثبت أهليتها باستمرار من خلال مواجهتها للضوء الساطع للبيانات المرصودة باستمرار.

يمكن اعتبار العديد من الأفكار الأكثر تأملاً في الفيزياء الأساسية اليوم - والتي وصفت بعضها في الفصل الثامن - على أنها فشلت في تلبية متطلبات ما يشكل نظرية علمية مناسبة؛ لأنه لا يمكن اختبارها بالتجربة.

من بين هذه، أود أن أدرج - في الوقت الحالي على الأقل - نظرية الأوتار، والجاذبية الكمية الحلقية، وإنتروبيا الثقب الأسود، ونظريات الأكوان المتعددة.

ومـع ذلـك؛ فـإن الآلاف مـن علمـاء الفيزيـاء النظرية حول العالم يجرون أبحاثًا مكثفة في هذه الموضوعات.

هـل يجـب أن يتوقفـوا عن العمـل في هذه المجـالات؛ لأن نظرياتهـم لا يمكـن اختبارهـا بعد؟ هـل يهدرون الأمـوال العامة التي يمكن صبها بشكل أفضل في مجالات بحث «مفيدة» أكثر؟ ومـا الدافـع لهؤلاء الفيزيائييـن إذا لم يكن لديهـم طريقة لاختبار نظرياتهم؟ هل أعماهم جمال معادلاتهم؟

مـن المؤكد أن عددًا قليلاً من علمـاء الفيزياء قد ذهبوا بعيدًا فـي هذا الأمر، حتى بلغ فيهم الأمـر أن يزعموا أنهم لا يحتاجون إلـى اختبـار نظرياتهم مقابـل البيانـات، ولكن فقط ضـد بعضهم البعـض، لمقارنـة الاتسـاق الرياضـي والأناقـة، وهو مـا يبدو لي مسلكاً خطيرًا.

ومـع ذلـك؛ فإن القسـوة المفرطة على هـؤلاء «الباحثين في الظلام» يمكن أن تظهر أيضًا نقصًا في الخيال وتقصيراً في تقدير تاريخ الأفكار في العلوم.

عندمـا كتـب ماكسـويل معادلاتـه فـي المجـال الكهربائـي والمغناطيسي واشتق منها معادلة الموجة للضوء، لم يعرف أحد، ولا حتى ماكسـويل نفسه، كيف سيتم استخدام هذه المعرفة، من

قبل هاينريش هيرتز وأوليفر لودج وغوليلمو ماركوني وآخرين، لتطوير الراديو.

كما لم يتوقع آينشتاين عند تطوير نظرياته النسبية، أنها ستستخدم يومًا ما لتزويدنا بملاحة دقيقة عبر الأقمار الصناعية، والتي يمكنك الوصول إليها باستخدام العجائب التقنية المحشورة في هذا الحاسوب العملاق في جيبك والتي كان من الممكن أن تكون مستحيلة بدون التكهنات المجردة لرواد الكم الأوائل.

لذا؛ فإن علماء الكون التضخمي ومنظري الأوتار وباحثي الجاذبية الكمية الحلقية يواصلون بحثهم، وهم محقون في ذلك.

قد يتبين أن أفكارهم خاطئة، أو قد تغير مجرى التاريخ البشري، أو قد نضطر إلى انتظار آينشتاين آخر، وربما حتى ذكاء اصطناعي، لمساعدتنا في الخروج من ارتباكنا الحالي.

لا يمكننا القول بعد، ولكن ما يمكننا قوله هو أنه إذا توقفنا عن الشعور بالفضول بشأن الكون والتحقيق في كيفية نشأته - ونشأتنا نحن -، فعندئذ سنتوقف عن كوننا بشرًا.

إن حياة الإنسان غزيرة بشكل لا حصر له، لقد اخترعنا الفن والشعر والموسيقى، لقد أنشأنا أديانًا وأنظمة سياسية، لقد بنينا مجتمعات وثقافات وإمبراطوريات غنية ومعقدة لدرجة أنه لا

يمكن لمجرد صيغة رياضية أن تغلفها، ولكن، إذا أردنا أن نعرف من أين أتينا، ومن أين تشكلت الذرات في أجسادنا - «لماذا» و «كيف» العالم والكون الذي نعيش فيه - إذن فالفيزياء هي الطريق إلى فهم حقيقي للواقع.

وبهذا الفهم، يمكننا تشكيل عالمنا ومصيرنا.

شكر وعرفان

ليس من السهل تحقيق التوازن في محاولة تغطية الامتداد الشاسع للفيزياء الأساسية في كتاب قصير مثل هذا، يستهدف الجمهور العام، بينما لا يزال هناك مساحة للسماح بمستوى من التفاصيل يأخذ في الاعتبار أحدث الأفكار، في العديد من المواضيع، ونسجها معًا.

أتركك لتكون الحكم على ما إذا كنت قد نجحت أم لا.

أردت أيضًا أن أتجنب استحضار بعض الاستعارات والتشبيهات المفرطة الاستخدام التي كثيرًا ما يقرؤها المرء في كتب العلوم العامة، العديد منها أصبحت قديمة في النهاية، أو حتى تبين أنها خاطئة، في ضوء فهمنا المتقدم.

وحتى لو أمكن تحقيق كل هذا، فهناك مشكلة أخرى.

جزيرة معرفتنا الفيزيائية محاطة بمحيط لم يتم شرحه بعد، لكن هذه الجزيرة تنمو في الحجم طوال الوقت.

يُقصد بهذا الكتاب أن يكون استكشافًا لشاطئها - حدود فهمنا الحالي -، لكن وصف هذا الخط الساحلي بإيجاز ودقة ليس بالمهمة السهلة لأي شخص.

على الرغم من أنه يمكنني استدعاء أكثر من ثلاثة عقود من البحث في الفيزياء النظرية، وربع قرن من التدريس الجامعي وكذلك كمروج للعلوم ومؤلف علمي، لشحذ مهاراتي في العثور على اللغة المناسبة لاستخدامها لفك المفاهيم المعقدة، فأنا مع ذلك؛ أدرك تمامًا حدودي عندما يتعلق الأمر بالفهم الكامل لمجالات الفيزياء خارج نطاق خبرتي.

لذلك فإنني مدين للغاية للزملاء والمتعاونين على كل المناقشات المثمرة العديدة التي أجريتها معهم على مر السنين، كما أنني ممتن جدًا لجميع أولئك الذين تخلوا عن وقتهم الثمين لقراءة هذه الكتاب، ومن خلال القيام بذلك، قدموا لي النصائح والاقتراحات التي ساعدت في سد الفجوات في فهمي.

في كثير من الأحيان اقترحوا تغييرات طفيفة على الصياغة لجعل الشرح أكثر دقة مع عدم التضحية بالوضوح والبساطة.

لقد استمتعت بكوني - قليلًا - جدليًا هنا وهناك في التعبير عن آرائي حول المشكلات التي لم يتم حلها في الفيزياء.

لقد حاولت قدر الإمكان أن أسلط الضوء على المواضع التي لا يزال فيها الجدل والتكهنات، لا سيما عندما كنت منتقدًا لوجهة النظر المتفق عليها، سواء في أسس ميكانيكا الكم، أو في

اختيار الأساليب المفضلة للجاذبية الكمومية أو نظرية التضخم.

عذري هو أن هذه ليست بالضرورة آرائي الشخصية وحدها - على الرغم من أنني أقف إلى جانبها -، بل هي آراء الفيزيائيين الذين أحترمهم والذين يعتبرون من نخبة الباحثين في مجالاتهم.

أود على وجه الخصوص؛ أن أشكر زملائي في قسم الفيزياء بجامعة سري، جاستن ريد، وبول ستيفنسون، وأندريا روكو، على تعليقاتهم العديدة المفيدة.

أنا ممتن أيضًا لمايكل شتراوس من جامعة برينستون للتوضيحات حول عدد من جوانب علم الفلك، ولأندرو بونتزن من كلية لندن الجامعية، الذي أجريت معه العديد من المناقشات المثمرة مؤخرًا حول طبيعة المادة المظلمة ومعنى نظرية التضخم.

شكرًا أيضًا لاثنين من كتابي المفضلين في مجال العلوم، فيليب بول وجون جريبين، على أفكارهم التي كانت لا تقدر بثمن.

لقد حاولت قدر المستطاع أن آخذ في الاعتبار جميع التعليقات والاقتراحات المقدمة من أولئك المذكورين أعلاه.

لا شك أنه ستظل هناك تفاصيل قد لا يتفق معها البعض تمامًا، ولكن نأمل ألا يكون هناك الكثير منها.

شيء واحد أعرفه على وجه اليقين هو أنهم جعلوا هذا الكتاب أفضل بكثير مما كنت أتمنى.

لقد كان من دواعي سروري منذ سنوات عديدة أن أقدم سلسلة «الحياة العلمية» على راديو بي بي سي ٤؛ حيث أجريت مقابلات مع العديد من كبار العلماء في العالم.

لقد منحني هذا الفرصة للتعمق أكثر في أحدث الأفكار في الفيزياء الأساسية، ولا سيما في مجالات مقتصرة ومفهومة لفئة معينة من المختصين مثل: فيزياء الجسيمات وعلم الكونيات؛ ولذلك، أنا مدين لشون كارول وفرانك كلوز، وبول ديفيز وفاي دوكر وكارلوس فرينك وبيتر هيغز ولورنس كراوس وروجر بنروز وكارلو روفيلي، فجميعهم كانوا ضيوفًا رائعين في برنامجي.

وإذا كان هناك أي شيء في هذا الكتاب لا يؤيدونه بكامل مشاعرهم - وأنا متأكد من أنه سيكون موجودًا -؛ فعندئذ آمل أن يغفروا لي.

- لم يقرؤوا هذا الكتاب بعد، لكن أفكارهم ساعدت بالتأكيد في تنقيح أفكاري.

أخيرًا .. أنا مدين بامتنان كبير لمحررتي في مطبعة جامعة

برينستون، إنجريد جينيرش، لدعمها الحماسي ونصائحها واقتراحاتها حول هيكل الكتاب وصياغته، مما ساعدني في وضعه في نسخته النهائية، مع تقدير للمساعدة الإضافي من المحرر الخاص بي آني جوتليب.

وغني عن القول أن أكبر «شكرًا لك» تذهب لزوجتي الجميلة، جولي، على صبرها ودعمها، وإلى وكيلي الجميل، باتريك والش، لقد كونا فريقًا جيدًا.

لمزيد من التوسع

فيما يلي قائمة بكتب العلوم الشائعة التي تتوسع في مواضيع هذا الكتاب:

عامة

Peter Atkins, *Conjuring the Universe: The Origins of the Laws of Nature* (Oxford and New York: Oxford University Press, 2018).

Richard P. Feynman et al., *The Feynman Lectures on Physics*, 3 vols. (Reading, MA: Addison- Wesley, 1963; rev. and ext. ed., 2006; New Millennium ed., New York: Basic Books, 2011); available in full online for free, http://www.feynmanlectures.caltech.edu.

Roger Penrose, *e Emperor's New Mind: Concerning Computers, Minds, and the Laws of Physics* (Oxford and New York: Oxford University Press, 1989).

Lisa Randall, *Warped Passages: Unraveling the Mysteries of the Universe's Hidden Dimensions* (London: Allen Lane; New York: HarperCollins, 2005).

Carl *Sagan, The Demon-Haunted World: Science as a Candle in the Dark* (New York: Random House, 1996).

Steven Weinberg, *To Explain the World: The Discovery of Modern Science* (London: Allen Lane; New York, HarperCollins, 2015).

Frank Wilczek, *A Beautiful Question: Finding Nature's Deep Design* (London: Allen Lane; New York: Viking, 2015).

فيزياء الكم

Jim Al-Khalili, *Quantum: A Guide for the Perplexed* (London: Weidenfeld and Nicolson, 2003).

Philip Ball, *Beyond Weird: Why Everything You Thought You Knew about Quantum Physics Is... Different* (London: e Bodley Head; Chicago: University of Chicago Press, 2018).

Adam Becker, *What Is Real? The Unfinished Quest for the Meaning of Quantum Physics* (London: John Murray; New York, Basic Books, 2018).

Sean Carroll, *Something Deeply Hidden: Quantum Worlds and the Emergence of Spacetime* (London: OneWorld; New York: Dutton, 2019).

James T. Cushing, *Quantum Mechanics: Historical Contingency and the Copenhagen Hegemony* (Chicago and London: University of Chicago Press, 1994).

David Deutsch, *The Fabric of Reality: Towards a theory of Everything* (London: Allen Lane; New York: Penguin, 1997).

Richard P. Feynman, *QED: The Strange Theory of Light and Matter* (Princeton and Oxford: Princeton University Press, 1985).

John Gribbin, *Six Impossible Things: The 'Quanta of Solace' and the Mysteries of the Subatomic World* (London: Icon Books, 2019).

Tom Lancaster and Stephen J. Blundell, *Quantum Field Theory for the Gifted Amateur* (Oxford and New York: Oxford University Press, 2014).

David Lindley, *Where Does the Weirdness Go? Why Quantum Mechanics is Strange, but Not as Strange as You Think* (New York: Basic Books, 1996).

N. David Mermin, *Boojums All the Way Through: Communicating Science in a Prosaic Age* (Cambridge, UK, and New York: Cambridge University Press, 1990).

Simon Saunders, Jonathan Barrett, Adrian Kent, and David Wallace, eds., *Many Worlds? Everett, Quantum Theory, & Reality* (Oxford and New York: Oxford University Press, 2010).

فيزياء الجسيمات

Jim Baggott, *Higgs: The Invention and Discovery of the 'God Particle'* (Oxford and New York: Oxford University Press, 2017).

Jon Butterworth, *A Map of the Invisible: Journeys into Particle Physics* (London: William Heine- mann, 2017).

Frank Close, *The New Cosmic Onion: Quarks and the Nature of the Universe* (Boca Raton, FL: CRC Press / Taylor and Francis, 2007).

Gerard 't Hooft , *In Search of the Ultimate Building Blocks* (Cambridge, UK, and New York: Cambridge University Press, 1997).

علم الكونيات والنسبية

Sean Carroll, *The Big Picture: On the Origins of Life, Meaning, and the Universe Itself* (New York: Dutton, 2016; London: OneWorld, 2017).

Albert Einstein, *Relativity: The Special and the General Theory,* 100th Anniversary Edition (Princeton, NJ: Princeton University Press, 2015).

Brian Greene, *The Hidden Reality: Parallel Universes and the Deep Laws of the Cosmos* (London; Allen Lane; New York: Alfred A. Knopf, 2011).

Michio Kaku, *Hyperspace: A Scientific Odyssey through Parallel Universes, Time Warps, and the 10th Dimension* (Oxford and New York: Oxford University Press, 1994).

Abraham Pais, *'Subtle is the Lord...': e Science and the Life of Albert Einstein* (Oxford and New York: Oxford University Press, 1982).

Christopher Ray, *Time, Space and Philosophy* (London and New York: Routledge, 1991). Wolfgang Rindler, *Introduction to Special Relativity*, Oxford Science Publications (Oxford and New York: Clarendon Press, 1982).

Edwin F. Taylor and John Archibald Wheeler, *Spacetime Physics* (New York: W. H. Freeman, 1992); free download, http://www.eftaylor.com/spacetimephysics./

Max Tegmark, *Our Mathematical Universe: My Quest for the Ultimate Nature of Reality* (London: Allen Lane; New York: Alfred A. Knopf, 2014).

Kip S. Thorne, *Black Holes and Time Warps: Einstein's Outrageous Legacy* (New York and London: W. W. Norton, 1994).

الديناميكا الحرارية والمعلومات

Brian Clegg, *Professor Maxwell's Duplicitous Demon: The Life and Science of James Clerk Maxwell* (London: Icon Books, 2019).

Paul Davies, *The Demon in the Machine: How Hidden Webs of Information Are Finally Solving the Mystery of Life* (London: Allen Lane; New York: Penguin, 2019).

Harvey S. Le and Andrew F. Rex, eds., *Max- well's Demon: Entropy, Information, Computing* (Princeton, NJ: Princeton University Press, 1990).

ماهية الزمن

Julian Barbour, *The End of Time: The Next Revolution in Physics* (Oxford and New York: Oxford University Press, 1999).

Peter Coveney and Roger Highfield, *The Arrow of Time: A Voyage through Science to Solve Time's Greatest Mystery* (London: W. H. Allen; Harper Collins, 1990).

P.C.W. Davies, *The Physics of Time Asymmetry* (Guildford, UK: Surrey University Press; Berkeley, CA: University of California Press, 1974).

James Gleick, *Time Travel: A History* (London: 4th Estate; New York: Pantheon, 2016).

Carlo Rovelli, *The Order of Time, trans. Simon Carnell and Erica Segre* (London: Allen Lane; New York: Riverhead, 2018).

Lee Smolin, *Time Reborn: From the Crisis in Physics to the Future of the Universe* (London: Allen Lane; Boston and New York: Houghton Mi in Harcourt, 2013).

التوحيد

Marcus Chown, *The Ascent of Gravity: The Quest to Understand the Force that Explains Everything* (New York: Pegasus, 2017; London: Weidenfeld and Nicolson, 2018).

Frank Close, *The Infinity Puzzle: The Personalities, Politics, and Extraordinary Science behind the Higgs Boson* (Oxford: Oxford University Press; New York: Basic Books, 2011).

Brian Greene, *The Elegant Universe: Superstrings, Hidden Dimensions, and the Quest for the Ultimate Theory* (London: Jonathan Cape; New York: W. W. Norton, 1999).

Lisa Randall, *Knocking on Heaven's Door: How Physics and Scientific Thinking Illuminate the Universe and the Modern World* (London: Bodley Head; New York: Ecco, 2011).

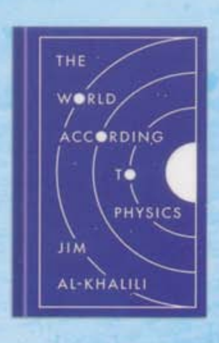
Carlo Rovelli, *Reality Is Not What It Seems: The Journey to Quantum Gravity*, trans. Simon Carnell and Erica Segre (London: Allen Lane, 2016; New York: Riverhead, 2017).

Lee Smolin, *Three Roads to Quantum Gravity* (London: Weidenfeld and Nicolson, 2000; New York: Basic Books, 2001).

Lee Smolin, *Einstein's Unfinished Revolution: The Search for What Lies Beyond the Quantum* (London: Allen Lane; New York: Penguin, 2019).

Leonard Susskind, *The Cosmic Landscape: String Theory and the Illusion of Intelligent Design* (New York: Little, Brown, 2005).

Frank Wilczek, *The Lightness of Being: Mass, Ether, and the Unification of Forces* (Basic Books, 2008).



العالم كما تراه الفيزياء

في عصر كثرت فيه التأويلات والتخمينات العلمية عن العالم وحقيقته، يأتي هذا الكتاب ليبين الفرق بين النظرية والتأويل، ويقدم لنا أهم النظريات العلمية التي تصف لنا هذا العالم منذ اللحظة الأولى التي بدأ فيها الكون، إلى الزمن غير المنتظم بامتداده عبر أبعاد كوننا الشاسعة وغير المنتظمة، ومن الأبعاد الأصغر التي لا يمكن إدراكها في الكون، إلى الأبعاد الفلكية. لقد قدم جم الخليلي هذا الكتاب لجميع القراء، من أدباء، وغير مختصين، وقد جمع فيه خلاصة تجربته العلمية الممتدة لأكثر من ثلاثة عقود قضاها في نشر العلوم، من خلال الوثائقيات العلمية ولقاءاته المسجلة مع نخبة من العلماء والمفكرين، ومن خلال الأبحاث العلمية والعمل الأكاديمي، لكي يبسط اللغة ويشرح المفاهيم بعمق كاف قادر على استيعابه القارئ غير المختص.

ورغم محاولة الكاتب تجنب اللجوء لحبال الفلسفة، إلا أن هذا الكتاب مهم جداً لكل مهتم في الفلسفة، فأثر النظرية العلمية جلي واضح في الفلسفة. وهناك تصورات مغلوطة عما يقوله العلم لنا عن هذا العالم. تأتي أهمية هذه الكتاب في بيان اللبس الحاصل عند العامة بسبب الخلط بين التخمينات العلمية والنظريات العلمية، ولذلك أثر هذا اللبس على الفكر والفلسفة.


ISBN 978-603-91618-1-3



